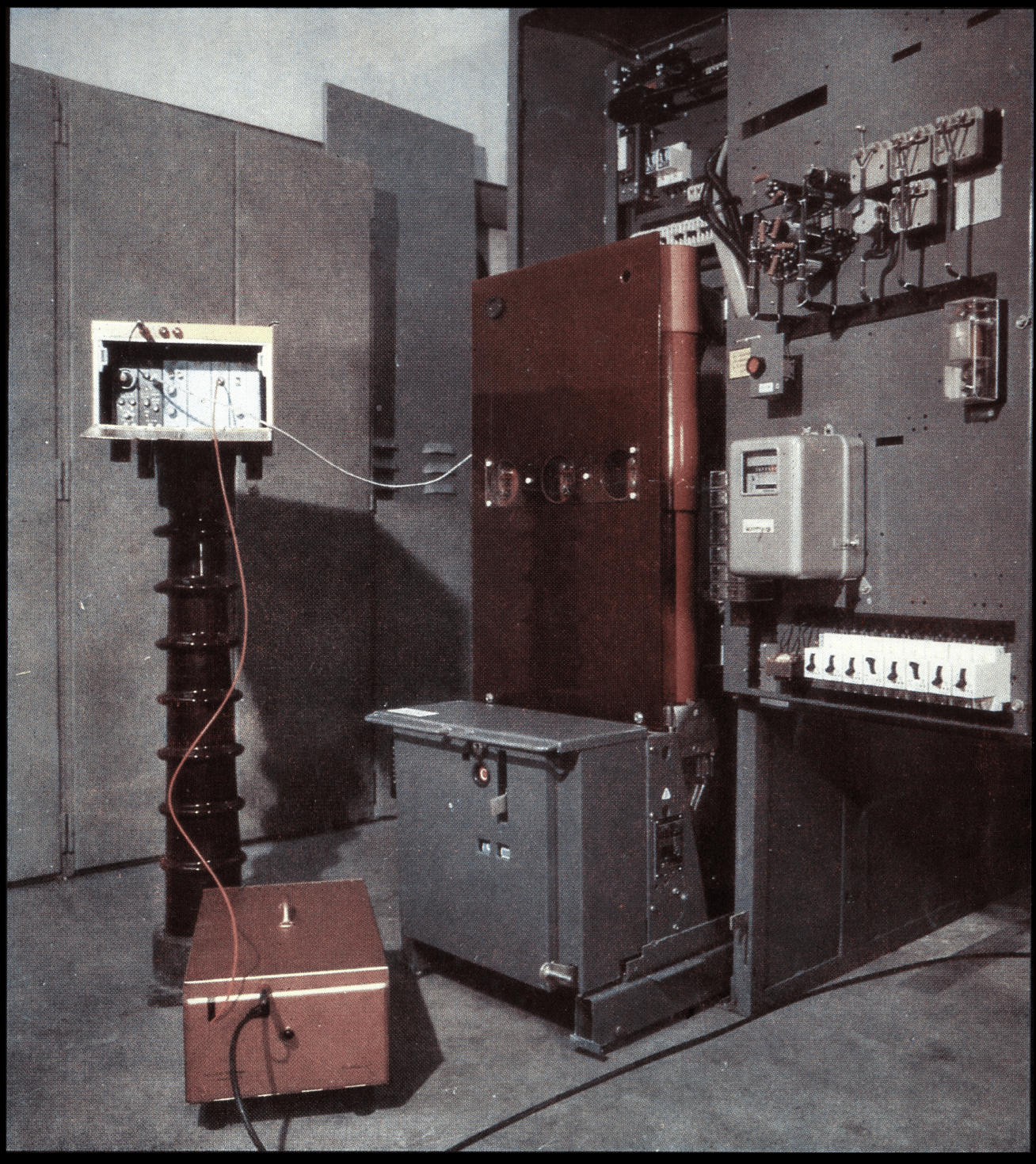
ELEKTRIE 9|84

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN · Postverlagsort für DDR Leipzig · EVP 2,50 Mark · ISSN 0013–5399



Institut
„Prüffeld für elektrische Hochleistungstechnik"
Berlin

0120310

Schneller und effektiver auch in Forschung und Entwicklung

Spitzenerzeugnisse aus dem Kombinat VEB Lokomotivbau-Elektrotechnische Werke „Hans Beimler“ (Siehe auch 3. US)

Lesen Sie hierzu unser Interview mit dem Direktor für Wissenschaft und Technik des Kombinats, Dr.-Ing. *Eckard Martin* auf den Seiten 323/324.

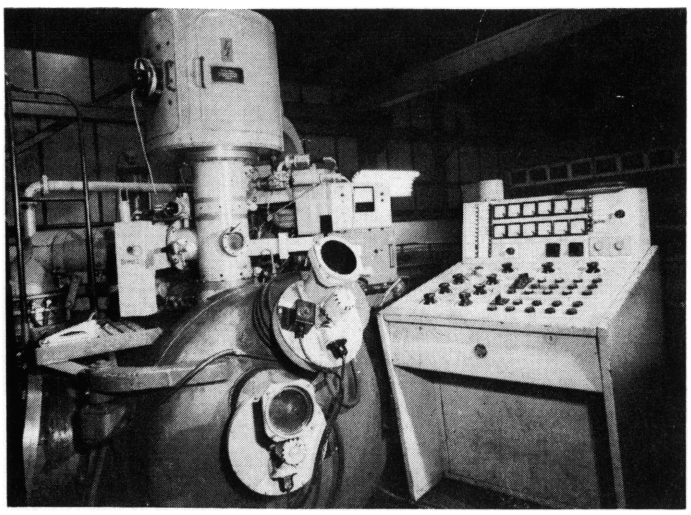
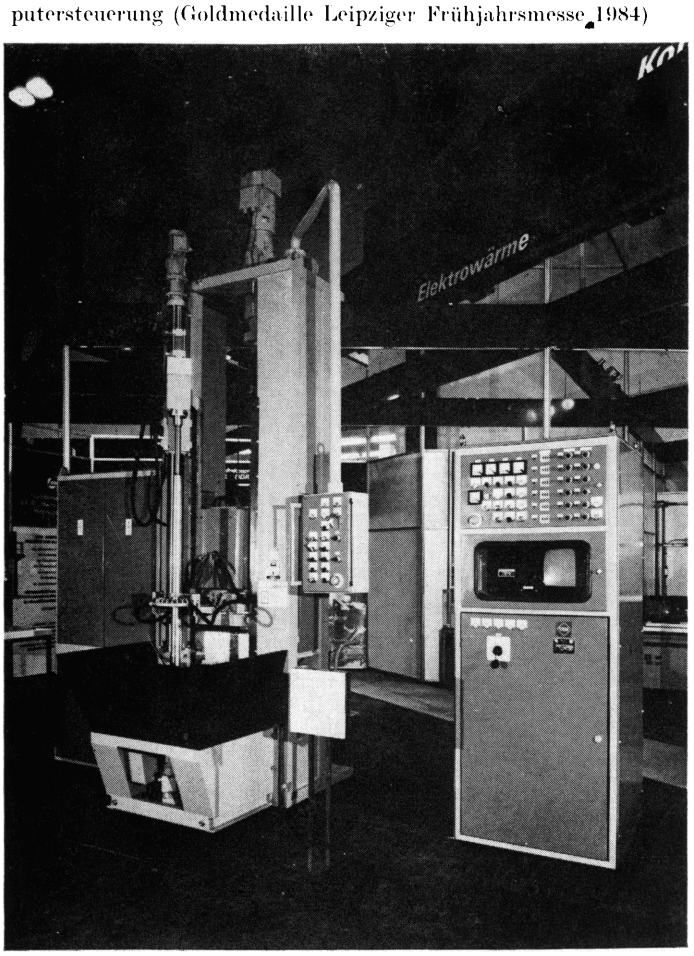


Bild 1. Elektronenstrahl-Mehrkammerofen 250 kW zum Erschmelzen von ultrareinen Werkstoffen (Goldmedaille Leipziger Frühjahrsmesse 1984)

Bild 2. Mittelfrequenz-Induktions-Härtemaschine mit Mikrocomputersteuerung (Goldmedaille Leipziger Frühjahrsmesse 1984)



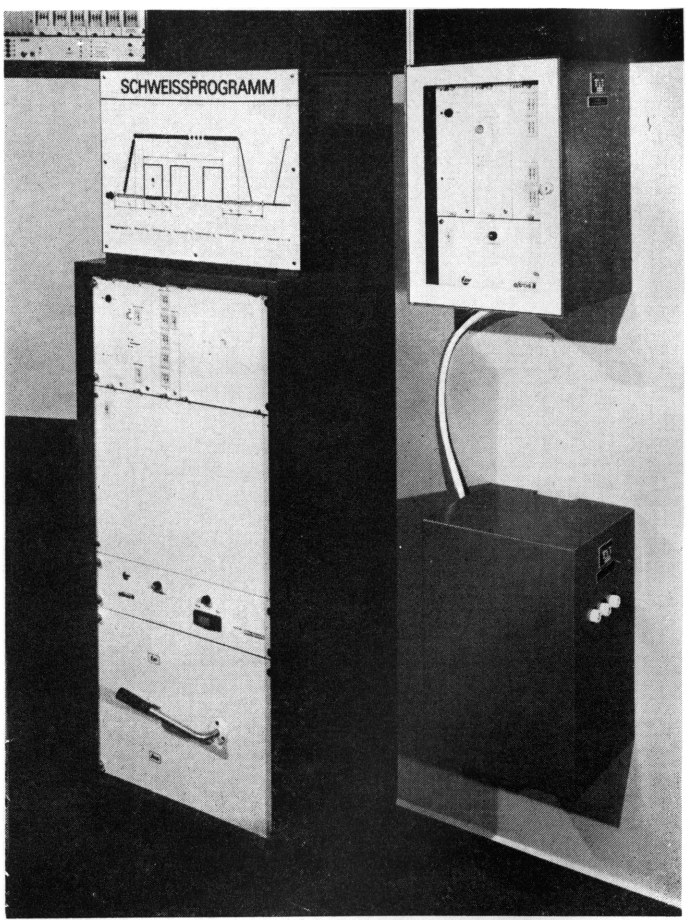


Bild 3. Preßstumpfschweißmaschine MBL-S 250 T zum Schweißen von Kesselrohren

Bild 4. Neue ELTROS-III-Steuerung für Punkt-, Buckel- und Nahtschweißmaschinen

9|84 ELEKTRIE

38. Jahrgang

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift der Elektrotechnik

ISSN 0013-5399

Organ des Fachverbands Elektrotechnik der Kammer der Technik

Die Zeitschrift erhielt die Silberne Plakette der KDT

Redaktionsbeirat

Vorsitzender:

Prof. Dr. sc. techn. J. Vogel

Mitglieder:

Prof. Dr. sc. techn. S. Altmann Prof. Dr. sc. techn. H. Böhme · Prof. Dr. sc. techn. P.-K. Budig Dr. sc. techn. G. Burkhard Dr.-Ing. D. Flügge Obering. K. Friedel · Dipl.-Ing. H. Kabisch · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Lappe Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. e.h. H.-J. Mau Prof. Dr. phil. habil. G. Mierdel · Dr. rer. nat. K. Möbius · Prof. Dr. sc. techn. E. Muschick · Prof. Dr. sc. techn. V. Pfeiler · Prof. Dr.-Ing. e.h. K. Pommer Prof. Dr.-Ing. habil. R. Schönfeld Obering. Dipl.-Ing. N. Wass

Korrespondenten:

Dr.-Ing. K. Hanella, Ilmenau Dr.-Ing. W. Jordan, Dresden Dipl.-Ing. W. Knuth, Berlin

Titelbild

Im Hochspannungs-Hochleistungsprüffeld des Instituts „Prüffeld für elektrische Hochleistungstechnik" (IPH) in Berlin — es ist das einzige derartige Prüffeld der DDR — werden Entwicklungs- und Typprüfungen für die Erzeugnisse der in- und ausländischen Schaltgeräteindustrie durchgeführt. Voraussetzung dafür ist eine Meßtechnik, die eine exakte Registrierung der gemessenen Signalverläufe am Schaltgerät ermöglicht.
Durch die auf unserem Titelfoto gezeigte optoelektronische Übertragungseinrichtung ist es möglich, zwischen Meßorten unterschiedlich hoher Potentiale elektrische und nichtelektrische Signalgrößen zu messen und zu registrieren.
Näheres zu diesem Thema finden Sie im Beitrag von D. Jahn auf den Seiten 325 bis 327 in diesem Heft.
Foto: Werkfoto

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Träger des Ordens Banner der Arbeit

Aus dem Inhalt

Seite

Aktuelle Information 322

Martin, E.
Schneller und effektiver auch in Forschung und Entwicklung 323

Fachaufsätze

Jahn, D.
Optoelektronische Übertragung des auf Hochspannungspotential gemessenen Löschmittel-Druckverlaufs in ölarmen Leistungsschaltern 325

Anke, E.; Mencke, H.; Thiede, F.
Ein modifiziertes Verfahren zur Bestimmung der Lichtbogenparameter nach der Methode der Stromüberlagerung 328

Beer, F.
Untersuchungen zur Lichtbogenlöschung in kompakten Löschblechkammern von Niederspannungs-Leistungsschaltern 331

Rothhardt, L.
Modellierung des dielektrischen Wiederzündens von beströmten Leistungsschaltstrecken 334

Riefenstahl, U.; Hansen, R.
Rendezvoussteuerung einer rotierenden Walzwerkschere mit Mikrorechnern 336

Kolbe, E.; Seeber, H.
Neue Möglichkeiten für die Kühlung hochbelasteter Induktoren für die Induktionserwärmung 340

Krüger, W.-D.; Krause, W.; Landerer, W.
Eigenschwingungsuntersuchungen an Ständern großer Turbogeneratoren 342

Bräsel, E.; Pyl, Th.
Relaisgaskorrektur zur Bestimmung der Fehlerart im Transformator 344

Ballhorn, U.
Zur digitalen Berechnung von Ausgleichsvorgängen in Drehstromsystemen 347

Brendler, W.
Potentialgetrennte Meßwertabbildung der Stromstärke in Schaltanlagen mittels Brückenwandler 350

Umschau

Fachtagungen 353

Zeitschriften 354

Bücher 357

AKTUELLE INFORMATION

Fernwärme

Planung — Konstruktion — Betriebsführung
XVI. Kraftwerktechnisches Kolloquium

Zeit: 9. und 10. Oktober 1984

Ort: Dresden, Plenar- und Festsaal des Dresdner Rathauses

Veranstalter: Sektion Energieumwandlung der TU Dresden; wissenschaftliche Sektionen Fernwärme und Elektroenergie der Wissenschaftlich-Technischen Gesellschaft für Energiewirtschaft; wissenschaftlicher Rat des Forschungsprogramms „Ingenieurwissenschaftliche Grundlagen der Energiewirtschaft" des Ministeriums für das Hoch- und Fachschulwesen; Industriezweigaktiv Kraftwerksanlagenbau der KDT

Inhaltliche Schwerpunkte:

- Die Entwicklung der Fernwärmeversorgung
- Die Bewertung von Wärme
- Grundlagenprobleme und Untersuchungsmethoden zur zentralisierten Wärmeversorgung
- Überlegungen zur langfristigen Wärmeversorgung in der DDR
- Anforderungen an die zweckmäßige Fahrweise der Heizkraftwerke aus der Sicht des Elektroenergieverbundsystems
- Die Entwicklung der Wärmeversorgung aus Kernenergie im Rahmen des Kernenergieprogramms
- Kernheizwerke mit Wasser-Wasser-Reaktoren
- Optimierungsfragen im Kernkraftwerk
- Studien zum Einsatz der Fernwärmeversorgung mit Kernheizwerken im Siedlungsnetz
- Sozialökonomische Aspekte des weiteren Ausbaus der Fernwärmeversorgung
- Zur Bewertung der im Koppelprozeß bereitgestellten Wärme mittels energetischer Kennziffern
- Modellierung der Zuverlässigkeit von Fernwärmenetzen
- Beiträge zur rechnergestützten Optimierung von Rohrnetzen
- Neue Systemlösungen in der Fernwärmeversorgung
- Zur Entstehung und Auswirkung instationärer Vorgänge in Fernwärmenetzen
- Wärmelastplanung für Fernwärmeversorgungssysteme — Grundgedanken und mathematische Methoden
- Eigenschaften und Einsatzbereiche niedertemperierter Raumheizflächen
- Neue Entwicklungen der Fernwärme-Versorgung in der BRD
- Entwicklungsperspektiven kanalfrei verlegter Wärmeversorgungsleitungen
- Wege zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit der städtischen Wärmeversorgung
- Die Nutzung von Abwärme in der Fernwärmeschiene Niederrhein
- Beitrag zur Berechnung der Wärmespeicherung in Heißwasser-Fernwärmeleitungen
- Rechnergestützte Ausbauplanung von Fernwärmenetzen
- Möglichkeiten und Grenzen der gekoppelten Wärme- und Elektroenergieversorgung von Industriebetrieben
- Methoden der Optimierung von Heizkraftwerken auf Kernenergiebasis für industrielle und kommunale Abnehmer
- Kombinierte Heißwasser- und Dampfversorgung kommunaler und industrieller Wärmeverbraucher aus Heißwassernetzen
- Untersuchungen zur territorialen Fernwärmeversorgung eines industriellen Ballungsgebietes
- Möglichkeiten der Wärmespeicherung in Heizwassertransitleitungen zur Kompensation der elektrischen Minderleistung in Spitzenzeiten bei Wärme-Kraft-Kopplung und Kondensationsstromerzeugung
- Reduzierung der elektrischen Minderleistung bei Wärmeauskopplung aus einem vorhandenen Großkraftwerk durch Veränderung der wärmetechnischen Schaltung im Turbinenbereich
- Brennstoffeinsparung in Dampferzeugern durch Anwendung des Dampfwirbelschicht-Trocknungsverfahrens des Instituts für Energetik/Zentralstelle für Rationelle Energieanwendung
- Wärmeversorgung durch Abwärmenutzung
- Ökonomische Parameter der komplexen Heizwasserversorgung innerstädtischer Wohngebiete bei Einsatz von Wärmepumpen
- Rechnergestützte Betriebsführung in der Fernwärmeversorgung — ein Beitrag zur Erhöhung der Effektivität und Versorgungszuverlässigkeit.

Anfragen:

Dr.-Ing. *K. Nöther*
Technische Universität Dresden
Sektion Energieumwandlung
K. Nöther, Dresden EA 1813

Wissenschaftlich-technischer Fortschritt in der Energiewirtschaft

VII. Wissenschaftliche Konferenz für Energiewirtschaft

Zeit: 16 bis 18. April 1985

Ort: Zittau

Veranstalter: Ingenieurhochschule Zittau

Vorläufiges Programm

16. April 1985, 10.30—13.00 Uhr: Plenartagung

16. bis 18. April 1985: Beratungen in fünf Sessionen

Session I

Planung und Bilanzierung in der Energiewirtschaft

Themenkreise

- Gesamtenergetische Planung
- Kombinats- und Betriebsplanung in der Energieversorgung
- Optimierung und Bilanzierung bei der Instandhaltung von Energieanlagen.

Session II

Forschung, Entwicklung und Erfahrungen in der Kraftwerkstechnik

Themenkreise

- Betrieb und Rekonstruktion von Braunkohlekraftwerken
- Errichtung und Betrieb von Kernkraftwerken
- Überwachung und Instandhaltung energetischer Anlagen.

Session III

Informations- und Automatisierungstechnik in der Elektroenergieversorgung

Themenkreise

- Integrierte Systeme der Steuerung, Regelung, des Schutzes, der Überwachung und der Diagnostik in der Elektroenergieversorgung
- Schutztechnik in der Elektroenergieversorgung
- Optoelektronische Komponenten und Systeme der Informations- und Automatisierungstechnik.

Session IV

Wirtschaftliche Bereitstellung und Anwendung von Energie in Industriebetrieben

Themenkreise

- Substitution veredelter Brennstoffe in Wärmeerzeugungsanlagen
- Wärmerückgewinnung und Abwärmeverwertung in Industrieanlagen
- Bewertung des wirtschaftlichen Energieeinsatzes in Industriebetrieben.

Session V

Energie und Gesellschaft

Themenkreise

- Die Rolle der Energieökonomie bei der Durchsetzung der Ökonomie an vergegenständlichter Arbeit und Konsequenzen ihrer Verwirklichung für die Herausbildung von Eigenschaften der intensiven erweiterten sozialistischen Reproduktion
- Volkswirtschaftliche Ergebnisse, Aufgaben und theoretische sowie praktische Probleme der Energiewirtschaft und der Energieökonomie der DDR bei der Verwirklichung der Wirtschaftsstrategie
- Probleme des Vergesellschaftungsprozesses und seiner Leitung in der Energiewirtschaft.

Wissenschaftliche Rahmenveranstaltungen

Folgende Abendgespräche werden vorbereitet:

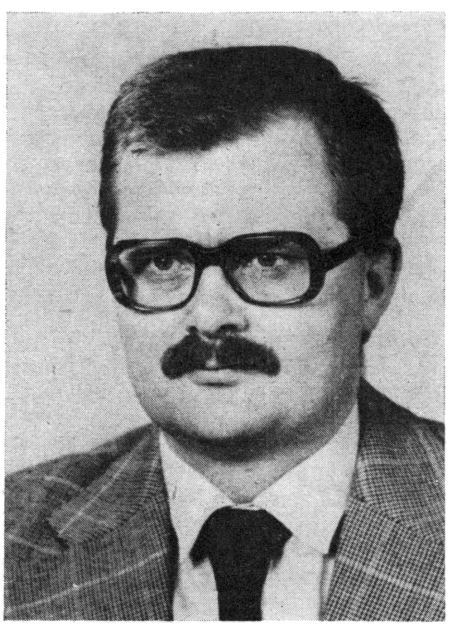
- VIII. Zittauer Kernenergiegespräch
  Verantwortlich:
  Prof. Dr. sc. nat. *K. Meyer*
- Errichtung von Kernkraftwerken
  Verantwortlich:
  Prof. Dr.-Ing. *R. Nitsch*
- Rationelle Energieanwendung
  Verantwortlich:
  Prof. Dr. sc. oec. *W. Riesner*
- Automatisierungstechnik
  Verantwortlich:
  Prof. Dr.-Ing. *D. Engelage*

Zu diesen Veranstaltungen erfolgen gesonderte Einladungen.

Anfragen:

Prof. Dr. rer. nat. *G. Schumann*
Prorektor für Naturwissenschaften und Technik
Ingenieurhochschule Zittau
Theodor-Körner-Allee 16
DDR 8800 Zittau
Telefon: Zittau 610
Telex: 284240
G. Schumann, Zittau EA 1739

Schneller und effektiver auch in Forschung und Entwicklung



Interview mit Dr.-Ing. Eckard Martin
Direktor für Wissenschaft und Technik
des Kombinats VEB LEW „Hans Beimler"

Redaktion: Bedeutung und Einfluß von Wissenschaft und Technik wachsen international ständig. Nur wer wissenschaftlich-technische Erkenntnisse schnell in die Praxis einfließen läßt, wird marktbeeinflussende Erzeugnisse fertigen können. Im Kombinat VEB LEW wurde der Export 1983 im Vergleich zu 1980 um etwa 50% gesteigert. Diesem Ergebnis nach muß es um den wissenschaftlich-technischen Vorlauf im Kombinat VEB LEW gut bestellt sein. Wie sieht das aus dem Blickwinkel des Direktors für Wissenschaft und Technik aus?

Dr. Martin: Das wissenschaftlich-technische Niveau wird nicht durch den allgemeinen Durchschnitt, sondern durch Spitzenleistungen bestimmt. Das ist eine Herausforderung für alle Konstrukteure, Projektanten und Entwickler. Man muß begriffen haben, daß die ausschlaggebenden Fortschritte am Reißbrett und in den Labors entstehen.
Schon lange werden keine „Wunschentwicklungen" mehr durchgeführt, sondern die Entwicklungsarbeiten gründen sich auf Ergebnisse der Marktarbeit, der Trendforschung und der Auswertung des internationalen Geschehens im Rahmen der Erzeugnisgruppen. Das gesamte Entwicklungspotential unseres Kombinats ist darauf ausgerichtet; alle Leiter im Forschungs- und Entwicklungsprozeß sind verpflichtet, marktorientierte Entwicklungen vorzubereiten und durchzusetzen.
Nur mit dieser Grundtendenz ist es möglich, den wachsenden Anforderungen im Export und der verstärkten Bereitstellung von elektrotechnologischen Ausrüstungen für die DDR-Wirtschaft zu entsprechen.
Diese Orientierung haben wir im Kombinat VEB LEW gewählt, um klare ökonomische Effekte produktionswirksam zu machen. Nur über eine hohe Erneuerungsrate gelingt es, materialökonomisch wirksam zu werden und die technologischen Aufwandzeiten unter Beachtung der verfügbaren Kapazitäten effektiv zu senken.
So haben wir im Planansatz für 1984 eine Erneuerungsrate von über 36% zur Gesamtwarenproduktion. Beim NSW-Export beläuft sich diese sogar auf über 55%! Das sind anspruchsvolle Zielstellungen, aber nur auf diesem Wege sind die erforderlichen Steigerungsraten realisierbar.
Bei der Vorbereitung einer Entwicklungsaufgabe gehen wir vom Welthöchststand aus, einschließlich der Beachtung eines entsprechenden Vorhaltewinkels.
In den Pflichtenheften werden die erforderlichen Parameter als verbindliche Arbeitsrichtung für den Konstrukteur formuliert. Mit dieser Orientierung schaffen wir die Voraussetzungen, für den Markt Modifikationen unter Einsatz verschiedener Techniken bis hin zur Anwendung moderner Mikroelektronik flexibel zu realisieren. Die Markterfordernisse beeinflussen auf diese Weise nicht nur die von uns gelieferten Produktionsmittel, sondern auch die Erzeugnisse aus den Bereichen Elektroisolierstoffe oder der Konsumgüterfertigung, die wir seit einiger Zeit in unserem Kombinat aufgebaut und profiliert haben. Das Niveau unserer Erzeugnisse wird vor allen Dingen durch Form- und Stoffleichtbau, Einsatz moderner Leistungs- und Informationselektronik unter verstärkter Einbeziehung der Mikroelektronik, Einsatz hochwertiger Werkstoffe für höchste Anforderungen, Nutzung leistungsfähiger Wirkprinzipien und ausgewählte Prüf- und Zuverlässigkeitstests bestimmt.
Beispiele dieser Entwicklung sind auf dem Gebiet der Schienentriebfahrzeuge unsere neue 4achsige Elektrolokomotive Baureihe 212/243 für die Sicherung des Elektrifizierungsprogramms der Deutschen Reichsbahn, das Elektroindustrielokomotivgespann EL 20 mit zusätzlichem Dieselelektroantrieb für UdSSR-Tagebaue. In diesem Zusammenhang sind zu nennen die Entwicklungen auf dem Gebiet der Industrieöfen, der Anlagen für industrielle Elektrowärme, der Schweißtechnik, der Oberflächentechnik usw.

Redaktion: Welche neuen Haupterzeugnisse werden in den nächsten Jahren das LEW-Entwicklungs- und -Produktionsprofil bestimmen?

Dr. Martin: Sämtliche Erzeugnisgruppen unseres Kombinats sind für die Perspektive bedeutsam, sowohl für die Sicherung des Exports als auch für die DDR-Industrie. Daraus resultiert eine hohe Verantwortung für den gesamten Prozeß der Forschung und Entwicklung, für den gesamten Prozeß der Produktionsvorbereitung.

Als Beispiele wären zu nennen:
- Die Sicherung der Elektrifizierung bei der Deutschen Reichsbahn durch Bereitstellung von modernen, leistungsfähigen Elektrolokomotiven.
- Die Bereitstellung von Hochleistungs-Industrielokomotiven für den Export.
- Wir haben eine wichtige Verpflichtung bei der Modernisierung der Gießereien unserer Republik. Dazu gehört die durchgängige Leistungsreihe von Netzfrequenz- und Mittelfrequenzinduktionsöfen, die eine Entwicklungsreserve darstellt und damit das Modernisierungsprogramm der Gießereien in der Republik möglich macht.
- Auf dem Gebiet der Elektroisolierstoffe haben wir eine hohe Verantwortung bei der erweiterten Einführung der Mikroelektronik durch Entwicklung und produktionswirksame Umsetzung hochwertiger Leiterplatten. Basismaterialien, Sondermaterialien, Kupferfolie usw.
- Nicht zuletzt haben wir wichtige Aufgaben auf dem Gebiet der Konsumgüterproduktion übernommen. Wir haben stabile Erzeugnisgruppen, z.B. den Heimwerkersatz des VEB Galvanotechnik Leipzig, der im arbeitsteiligen Prozeß auch im Stammbetrieb Hennigsdorf produziert wird. Perspektivisch wird diese Erzeugnisgruppe gekennzeichnet durch die Entwicklung und Produktionseinführung des Heißwasserspeichers 80 Liter in Druckausführung.
- Bedeutsam ist vor allem, wenn man über das perspektivische Programm spricht, unsere arbeitsteilige Leistung im Bereich der Elektronenstrahltechnik. Hier haben wir eine enge Partner-

schaft mit dem Forschungsinstitut Manfred von Ardenne, Dresden. Ein bedeutender Erfolg ist dabei der Export von Elektronenstrahlanlagen und Baugruppen in die UdSSR, in andere sozialistische Länder, nach Japan, in die USA oder nach Indien.

Redaktion: Welche Mittel, Methoden und Möglichkeiten werden für die schnellere Überleitung wissenschaftlich-technischer Erkenntnisse in die Fertigung genutzt?

Dr. Martin: Unsere Chefkonstrukteure haben eine klare Erzeugnisverantwortung und prägen durch ihre Tätigkeit die Erzeugnispolitik auch perspektivisch. Wir erwarten von den verantwortlichen Konstrukteuren und Leitern, daß sie sich entsprechende Entwicklungsreserven schaffen, um eine Basis zu haben für die produktionswirksame Umsetzung innerhalb ihres Verantwortungsbereiches sowie für die Modernisierung der in der Produktion befindlichen Erzeugnisse.

Auf Grund der obengenannten Orientierung — nämlich der marktwirksamen Entwicklung von Erzeugnissen — wird in unserem Kombinat von der Erzeugnisentwicklung bis hin zur Produktionseinführung ein straffes paralleles System der konstruktiven Vorbereitung, der Klärung von technologischen Fragen, der Bereitstellung entsprechender Rationalisierungsmittel bis zur Sicherung der Materialversorgung organisiert.

Inhaltliche Reserven in diesem Prozeß sehe ich vor allem darin, daß der Bereich der Grundlagenforschung, der Bereich der angewandten Forschung noch nicht genügend die Applikationsverantwortung wahrnimmt. Ich meine damit, daß die Institute, daß die Akademie der Wissenschaften, daß alle Hoch- und Fachschulen nicht nur die Aufgabe haben, neue wissenschaftliche Erkenntnisse zu finden und niederzuschreiben, sondern auch eine Verantwortung bei der Applikation dieser Ergebnisse besitzen. Diese Verantwortung muß stärker wahrgenommen werden, die wissenschaftlich-technische Erkenntnis muß „schieben". Sobald ein Konstrukteur nach neuen Erkenntnissen suchen muß, bedeutet das im Sinne produktionswirksamer Entwicklung Kapazitäts- und damit Effektivitätsverlust.

Nur im Miteinander kann die Innovation beschleunigt und in ihrer Wirkung effektiver geleitet und ausgerichtet werden. Eine große Bedeutung hat natürlich auch die Kooperation, die Zusammenarbeit mit den Partnerinstituten, mit den Partnereinrichtungen der sozialistischen Länder. Hier haben wir sehr viele Verknüpfungen, Verbindungen, die wir effektiv nutzen. Nicht zuletzt wäre zu nennen die Vergabe, aber auch der Kauf, die Nutzung von Patenten, Lizenzen und ähnlichen Formen des Wissensaustausches. Auf diesem Gebiet der Zusammenarbeit haben wir sehr positive Beispiele, haben wir positive Ergebnisse erzielt.

Redaktion: Genosse Direktor, läßt sich Entwicklungstempo planen?

Dr. Martin: Entwicklungstempo läßt sich beeinflussen und mit zielgerichteten Mitteln auch planen. Ich halte das für zwingend erforderlich, um unseren verantwortlichen Absatzorganen, um unseren Kunden klar sagen zu können, bis wann welches Ergebnis vorliegt, wann was marktwirksam wird. Nicht zuletzt deshalb, um eine langfristige Erzeugnispolitik vorbereiten und sichern zu können. Bei der Planung einer Entwicklungsaufgabe gehen wir von der inhaltlichen Zielstellung aus, von einer vorgegebenen Zeitachse. Die Aufgabe besteht darin, nicht autoritär zu entscheiden, sondern in der gesamten Leitungshierarchie Lösungsmöglichkeiten zu finden, diese Eckpunkte zu sichern. Dabei spielen strukturelle Dinge eine Frage, Fragen der Umprofilierung und der Stimulierung.
Ich denke, diese Form des Miteinanders war beispielsweise Grundlage dafür, in sehr kurzer Zeit vier neue Fahrzeuge zu entwickeln und produktionswirksam vorzubereiten. Wir haben diesen Prozeß sehr genau analysiert, ausgewertet, entsprechende Schlußfolgerungen gezogen, so daß der gesamte Innovationsprozeß durch leitungsseitige Beeinflussung steuerbarer geworden ist und damit auch sicherer in der Planung.

Redaktion: Welche Tendenz zeichnet sich bei der Bereitstellung der entsprechenden materiellen Fonds für die wissenschaftlich-technische Arbeit ab?

Dr. Martin: Der Anteil der uns zur Verfügung stehenden materiellen Mittel zur Bewältigung und Realisierung unserer Aufgaben wächst proportional zur gesamten Warenproduktion. So lagen wir im Jahre 1983 bei über 6%; außerdem schöpfen wir alle Möglichkeiten der materiellen Stimulierung in Form von Wettbewerbsvereinbarungen, Zielprämien und aufgabengebundenen Gehältern aus, um sehr schnell eine hohe Erneuerungsrate unserer Produktion zu sichern.
Die materielle Basis in unseren Labors, in unseren Versuchseinrichtungen verbessert sich ständig. Dieser gesamte Prozeß wird langfristig geplant und ist integrierter Bestandteil der Leitungstätigkeit, der Planwirksamkeit von Wissenschaft und Technik und damit eine der Möglichkeiten, die Innovation zu beschleunigen.

Redaktion: Wie werden in Ihrem Bereich die jungen Nachwuchskader von den Universitäten, Hoch- und Fachschulen in praktische Arbeit mit hohem Nutzeffekt eingeführt?

Dr. Martin: Die Absolventen, die in unserem Kombinat die Arbeit aufnehmen, werden konfrontiert mit den Erzeugnissen, indem sie einen Betriebsdurchlauf absolvieren. Sie lernen die Organisationsstruktur kennen, was außerordentlich wichtig ist, um sehr schnell Entwicklungen produktionswirksam einsteuern zu können. Und sie werden natürlich mit ihrem Aufgabengebiet vertraut gemacht, durch entsprechende Mentoren, durch entsprechende Anleitung.
Schwerpunkt ist dabei, die jungen Leute an alle Aufgaben heranzuführen, um aus der Kenntnis des Gesamtprozesses in beiderseitiger Abstimmung eine Profilierung und Spezialisierung planmäßig wirksam zu machen. Wir sprechen oft von Mikroelektronik, von technischer Kybernetik, von Automatisierungs- und Informationselektronik, aber die klassischen Disziplinen, wie Konstruktion, Projektierung usw., haben nach wie vor ihre Bedeutung nicht verloren. Sie haben eine andere Qualitätsstufe erreicht, und es gilt, neben den modernen neuen Techniken die tragenden Säulen — nämlich die Konstruktion und Entwicklung — aufrecht zu erhalten und mit entsprechendem Nachwuchs zu versehen. Hier haben wir einen Engpaß, hier müssen wir antreten, gemeinsam mit dem Hoch- und Fachschulwesen Wege zu finden, damit unser konstruktiver Nachwuchs gesichert ist, damit wir die Leute haben im Betrieb, die ihre Gedanken ingenieurmäßig zu Papier bringen.

Redaktion: Wie haben sich Wissenschaft und technischer Fortschritt im Kombinat VEB LEW in bezug auf die wachsende Bedeutung der Vergabe von Lizenzen, Patenten, Knowhow, also auf den gesamten Komplex immaterieller Leistungen im Export eingestellt?

Dr. Martin: Der gesamte Prozeß der immateriellen Leistungen ist nicht nur interessant im Sinne schneller Nutzung von Wissen durch Kauf von Lizenzen, sondern auch im Sinne des Verkaufs und damit zur Stimulierung des ökonomischen Ergebnisses des Betriebes. Durch eine gute Zusammenarbeit mit den Partnerinstituten, hier wäre wieder zu nennen das Forschungsinstitut Manfred von Ardenne, haben wir für ausgewählte Schwerpunkttechnologien ein Know-how im Angebot, das wir auf dem Gebiet der Elektronenstrahltechnik und Bedampfungstechnik anbieten; wir haben aber auch mit der Profilierung zum Anlagenexport technisches Wissen im Angebot zur Herstellung von Kupferfolien, zur Herstellung von Galvanochemikalien und anderes.
Der Prozeß des Verkaufs immaterieller Leistungen ist in Fluß gekommen und wird sich in den nächsten Jahren ständig ausweiten. Eine der Grundlagen dafür ist auch der Verkauf von Lehrwerkstätten und Berufsausbildungszentren.
Zum 35. Jahrestag haben sich die Mitarbeiter des Bereichs Wissenschaft und Technik des Kombinats VEB LEW neue hohe Ziele bei der Erzeugnis- und Verfahrensentwicklung gestellt, deren Erreichung uns wiederum weiter voranbringen wird.

(Das Gespräch führte im Auftrage der Redaktion K. Heise, Berlin) EA 1753

Optoelektronische Übertragung des auf Hochspannungspotential gemessenen Löschmittel-Druckverlaufs in ölarmen Leistungsschaltern

D. Jahn, KDT, Berlin

Mitteilung aus dem Institut „Prüffeld für elektrische Hochleistungstechnik" Berlin (IPH)

Um den ständig steigenden Bedarf an Elektroenergie in Zukunft für die Volkswirtschaft decken zu können, muß auch die Schaltgeräteindustrie neue Wege bei der Erforschung und Produktion erschließen, die höhere Grenzparameter ihrer Erzeugnisse bei optimalem Materialeinsatz garantieren.
Deshalb werden u.a. im Hochspannungs-Hochleistungsprüffeld des IPH Berlin — es ist das einzige derartige Prüffeld der DDR — Entwicklungs- und Typprüfungen für die Erzeugnisse der in- und ausländischen Schaltgeräteindustrie durchgeführt. Dabei wird das Schaltgerät mittels spezieller Prüfschaltungen unter den gleichen Bedingungen, wie sie in einem Verbundsystem der Elektroenergie auftreten, geprüft. Gleichzeitig sollen auch durch Untersuchungen des Schaltlichtbogens neue Erkenntnisse über die physikalischen Vorgänge im Löschsystem erlangt werden.
Voraussetzung dafür ist eine Meßtechnik im Hochleistungsprüffeld, die eine exakte Registrierung der gemessenen Signalverläufe am Schaltgerät ermöglicht.
Besonders schwierig stellt sich dabei die Übertragung von einmaligen Meßwertverläufen dar, deren Meßwertaufnehmer sich auf Hochspannungspotential befinden. Durch eine optoelektronische Meßwertübertragung von Hochspannungs- auf Erdpotential ist es möglich, zwischen Meßorten unterschiedlich hoher Potentiale elektrische und nichtelektrische Signalgrößen zu messen und zu registrieren. Im folgenden werden Messung und optoelektronische Übertragung des auf Hochspannungspotential vorhandenen Löschmittel-Druckverlaufs in ölarmen Mittelspannungs-Leistungsschaltern unter den Bedingungen des Hochleistungsprüffeldes vorgestellt. Außerdem werden die bei der Erprobung erzielten Versuchsergebnisse diskutiert und weitere Anwendungsfälle aufgezeigt.

1. Optoelektronische Übertragung von auf Hochspannungspotential gemessenen Signalverläufen

Ein optoelektronisches Übertragungssystem besteht allgemein aus optischem Sender, Übertragungsstrecke und Empfänger. Besonders vorteilhaft eignet sich für ein universelles System zur Übertragung von auf Hochspannungspotential gemessenen Signalverläufen das Prinzip der Lichtmodulation innerhalb der Lichtquelle. Entsprechend den speziellen Anforderungen an die Messung, Übertragung und Registrierung von Signalverläufen im Hochspannungs-Hochleistungsprüffeld und dem Stand der Technik werden vorzugsweise als Strahlungssender Infrarot-Lumineszenzdioden (IR-LED), als Übertragungsstrecke Lichtwellenleiter (LWL) und als Strahlungsempfänger Si-Fotodioden verwendet [1]. Dadurch läßt sich eine optoelektronische Übertragung technisch einfach und ökonomisch realisieren. Das Prinzip ist im Bild 1 dargestellt. Die Eigenschaften der optoelektronischen Bauelemente, insbesondere die der LED, müssen bei der Auswahl eines geeigneten Modulationsverfahrens besonders berücksichtigt werden. Die Lichtleistung der LED steigt nur in einem bestimmten Bereich linear zum Diodenstrom an; über diesen Bereich hinaus tritt eine thermische Sättigung ein.

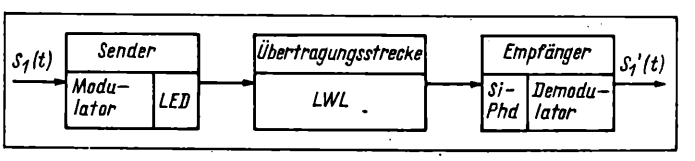
Die Lichtleistung strebt dann asymptotisch einem Endwert zu. Außerdem nimmt die Lichtleistung der LED mit zunehmender Lebensdauer ab [2] [3].
Diese Eigenschaften bestimmen im wesentlichen die Anforderungen hinsichtlich Linearität, Übertragungsfrequenzbereich, Genauigkeit, Störbeeinflussung u.ä. an das zu verwendende Modulationsverfahren. Nur die Verfahren der Pulsmodulation, insbesondere der Pulspositionsmodulation (PPM), können diese Anforderungen optimal erfüllen.
Die PPM ist deshalb besonders günstig, da die mittlere Diodenleistung konstant ist, unabhängig von der Größe des modulierenden Signals. Die PPM steuert direkt die Lichtintensität der LED, d.h., der durch die Diodensperrschicht fließende Strom der LED wird moduliert.
Die hierbei verwendete PPM besteht aus Impulsen, die die Breite $\tau = 100$ ns und die Frequenz $f_0 = 1{,}4$ MHz besitzen. Das optoelektronische Übertragungsverfahren wurde entsprechend Bild 1 aufgebaut und mit der IR-LED VQ 110 als Strahlungssender, mit einem konfektionierten Glasfaserbündel-Leiter der Länge von 2 m als potentialtrennende Übertragungsstrecke realisiert. Seit kurzem konnten auch die LED VQ 170 und die Fotodiode SP 107, die über einen Lichtwellenleiter-Anschluß verfügen, in Verbindung mit einem Lichtwellenleiter (200 µm-Step-Index-Faser) der Länge von 100 m für die Erprobung eingesetzt werden.
Damit ist eine Registrierung der auf Hochspannungspotential gemessenen Signalverläufe an Leistungsschaltern im Frequenzbereich von 0···100 kHz möglich [4].

2. Messung und optoelektronische Übertragung des auf Hochspannungspotential gemessenen Löschmittel-Druckverlaufs

2.1. Versuchsaufbau

Der auf Hochspannungspotential vorhandene Löschmittel-Druckverlauf in ölarmen Mittelspannungs-Leistungsschaltern des VEB Schaltgerätewerk Muskau wird piezoelektrisch gemessen, optoelektronisch übertragen und auf Erdpotential registriert. Die Messungen wurden an einem ölarmen Mittelspannungs-Leistungsschalter des VEB Schaltgerätewerk Muskau vom Typ SCI 4-24/20/800 MAA durchgeführt. Dieses Schaltgerät kann bei einer Nennspannung von 24 kV einen maximalen Nenn-Ausschaltstrom von 20 kA abschalten.
Die Messung des Löschmittel-Druckverlaufs erfolgte am Schalterpol der Phase *R* mittels eines Quarzkristall-Druckwandlers vom Typ QDE 12, mit dem ein maximaler Druck von 12 MPa gemessen werden kann [5]. Der Druckwandler war ausströmseitig an der Löschkammer des Polrohres auf Hochspannungspotential angeordnet und mit Hilfe eines Adapters in das Polrohr eingeschraubt.
Der dem Druckwandler nachgeschaltete Ladungsverstärker (Ladungs-/Spannungswandler) befindet sich als separater Karteneinschub [6] im Modulator der optoelektronischen Übertragungseinrichtung und ist mit dem Druckwandler durch ein koaxiales Meßkabel verbunden, das über einen zusätzlichen Schirm verfügt. Der Modulator und der Demodulator befinden sich jeweils in einem doppeltgeschirmten Gehäuse, dessen Aufbau durch eine Modifizierung des Einheitlichen Schlußsystems (EGS) realisiert wird.
Das Titelfoto dieses Heftes zeigt die verwendete optoelektronische Übertragungseinrichtung.
Der elektrische Versuchsaufbau ist im Bild 2 dargestellt. Die optoelektronische Übertragungseinrichtung befindet sich in der Prüfzelle. Vom Demodulator aus erfolgt die weitere Meßsignalübertragung über geschirmte Koaxialkabel vom Typ 75-4-4.40 zu einem Elektronenstrahloszillografen mit mechanischer Zeitbasis EM 21, der aus sicherheitstechnischen Gründen etwa 150 m entfernt im Steuer- und Beobachtungshaus des Prüffeldes steht. Der elektrische Versuchsaufbau auf Erdpotential wird nach dem im Hochspannungs-Hochleistungsprüffeld üblichen Meßaufbau vorgenommen. Das Schirmgehäuse des Demodulators ist mit dem Schirm des zum EM 21 führenden Koaxialkabels und mit dem Erdbezugspunkt in der Prüfzelle galvanisch verbunden.

Bild 1. Prinzip des optoelektronischen Übertragungssystems



Dr.-Ing. *Dietmar Jahn* ist Fachgebietsingenieur im Institut „Prüffeld für elektrische Hochleistungstechnik" Berlin.
Die Versuchsmessungen am ölarmen Leistungsschalter im IPH Berlin wurden mit aktiver Unterstützung durch Ing. *D. Milk* und Ing. *W. Schlammer* vom VEB Schaltgerätewerk Muskau durchgeführt.

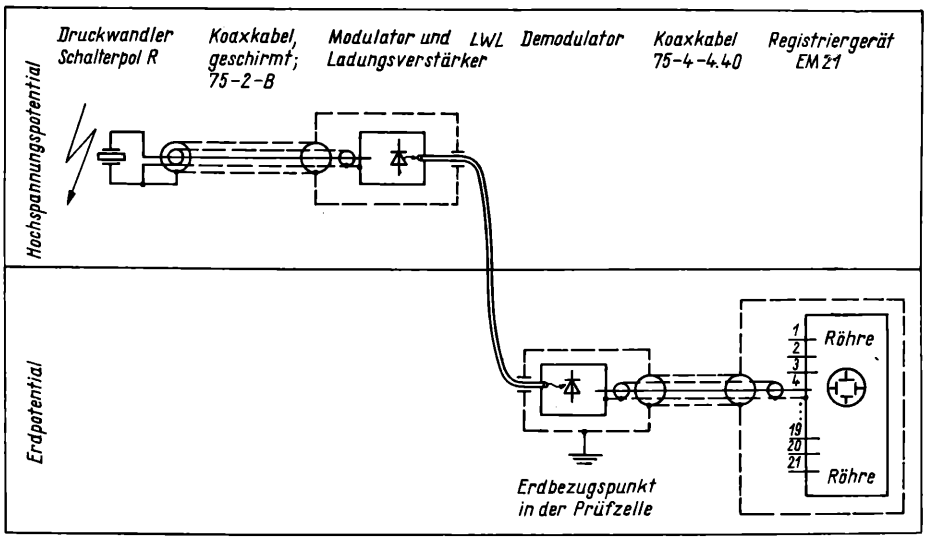


Bild 2. Elektrischer Versuchsaufbau

2.2. Versuchsdurchführung

Die Erprobung der optoelektronischen Versuchseinrichtung erfolgte immer nach dem Schaltzyklus $O - t_u - CO - t_z, t_x$, d.h. Ausschaltung (O) des Schaltgeräts, nach der Zeit $t_u = 300$ ms wieder Einschaltung (C), anschließend Ausschaltung (O), und für die Dauer $t_z = 1$ s bzw. $t_x = 15$ s stand die Nennspannung noch am Prüfling an. Für den maximalen Nenn-Ausschaltstrom wurde eine einfache Ausschaltung vorgenommen. Die Ausschaltströme wurden während der Prüfungen variiert. Die Schaltgeräte-Nennspannung war immer 24 kV. Zur Kalibrierung der gesamten Meß-, Übertragungs- und Registrieranordnung wird ein Ladungskalibrator [6] verwendet, der anstelle des Druckwandlers parallel zum Eingang des Ladungsverstärkers geschaltet wird. Der Ladungskalibrator liefert entsprechend der vorgegebenen Wandler-Empfindlichkeit und der geforderten Ausgangsspannung definierte Ladungssignale.

Mit diesem Kalibrator wird die gesamte elektrische Meßkette ausschließlich Druckwandler erfaßt. Für die Meßkette einschließlich Druckwandler wird zur statischen Kalibrierung eine Druckwaage mit rotierenden Kolben verwendet [7]. Dagegen erfordert die dynamische Kalibrierung einen komplizierten apparativen Aufwand. Eine dynamische Kalibrierung ist im allgemeinen in solchen Institutionen möglich, die auch die Eichung von Meßgeräten vornehmen dürfen.

2.3. Versuchsergebnisse

Die bisherige Druckmessung am Schaltgerät im Hochspannungs-Hochleistungsprüffeld gestattete nur eine Anordnung des Druckwandlers auf Erdpotential. Nunmehr sind auch Aussagen über das Verhalten des Löschmittels in unmittelbarer Nähe des Lichtbogens bei Leistungsprüfungen möglich. Zugleich kann auch ein Vergleich des gemessenen Druckverlaufs auf Hochspannungspotential mit dem auf Erdpotential gemacht werden.

Ein Prüfoszillogramm der Versuchsserie ist im Bild 3 gezeigt. Aus Darstellungsgründen sind nur die charakteristischen Fälle des Schaltzyklus dargestellt. Zusätzlich zu den Verläufen einer dreipoligen ölarmen Mittelspannungs-Leistungsschaltprüfung ist noch der Löschmittel-Druckverlauf auf Hochspannungspotential (P_{RPOT}) aufgezeichnet.

Aus der Messung des Druckverlaufs in unmittelbarer Nähe des beim Abschalten des Stromes entstehenden Lichtbogens und aus dem Ver-

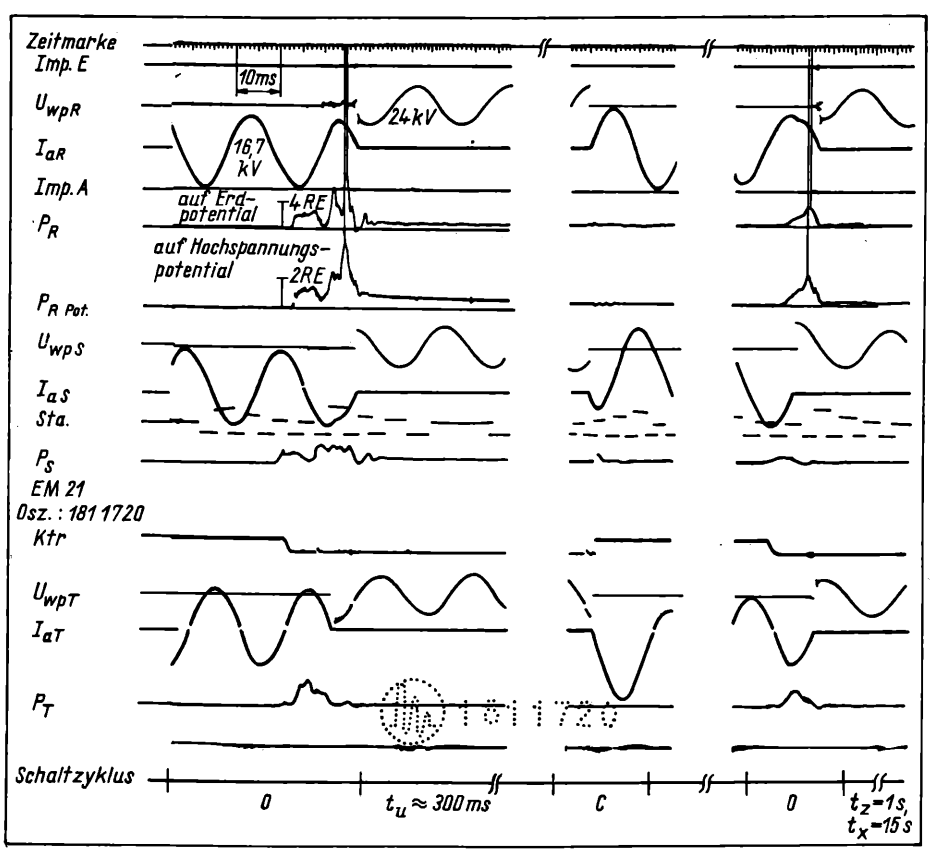


Bild 3. Prüfoszillogramm

gleich mit dem auf Erdpotential gemessenen Druckverlauf können folgende Aussagen gemacht werden:

- Eine qualitative Identität der beiden Druckverläufe ist vorhanden.
- Die Druckmaxima auf Hochspannungspotential liegen etwa 0,5 ms vor denen auf Erdpotential.
- Der maximale Druck auf Hochspannungspotential ist um etwa 20% bis 40% geringer als der auf Erdpotential.
- Es tritt keine Beeinflussung des Druckverlaufs auf Hochspannungspotential während der Stromflußphase auf.

Diese Aussagen lassen sich wie folgt begründen:
Der entstehende Druck breitet sich mit Schallgeschwindigkeit im Schalterpolrohr aus. Die Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten errechnet sich allgemein nach der Beziehung

$$C = \sqrt{\frac{1}{\alpha \varrho}} \qquad (1)$$

α Kompressibilität
ϱ Dichte der Flüssigkeit.

Daraus läßt sich die Zeit abschätzen, die der Druck von der Löschkammer bis zum Druckwandler auf Erdpotential benötigt; vorausgesetzt der Einfluß des im gasförmigen Aggregatzustand befindlichen Löschmittels, das in unmittelbarer Nähe des Lichtbogens entsteht, ist vernachlässigbar.
Wenn man eine Dichte $\varrho = 0{,}87$ kg/dm³ und eine Kompressibilität $\alpha = 8 \cdot 10^{-6}$ cm²/N für das als Löschmittel verwendete Transformatorenöl annimmt, dann errechnet sich mit Gl. (1) eine Schallgeschwindigkeit von etwa $C = 1200$ m/s. Die Entfernung zwischen den Druckmeßstellen auf Hochspannungs- und Erdpotential beträgt etwa 600 mm. Damit ergibt sich für diese Druckverläufe eine zeitliche Verschiebung von ungefähr 0,5 ms, die mit der gemessenen gut übereinstimmt (Bild 3).
Die Auswertung der Versuche hat weiterhin ergeben, daß der maximale Druck auf Hochspannungspotential gegenüber dem auf Erdpotential um etwa 20% bis 40% geringer ist.
In der Löschkammer entsteht infolge des Abschaltstromes ein Lichtbogen, der eine Strömung des Löschmittels hervorruft. Bedingt durch die düsenförmigen Austrittskanäle der Löschkammereinsätze verläuft die Strömung in radialer Richtung zum Lichtbogen. Das Löschmittel kann nur an einer Stelle aus der Löschkammer in den darübergelegenen Druckausgleichsraum des Schalterpols strömen, in dem atmosphärischer Druck herrscht. Bei den Versuchen befand sich der Quarzkristall-Druckwandler an der Ausströmseite der Löschkammer auf Hochspannungspotential. An dieser Stelle tritt neben dem Löschmittel-Druck, der orthogonal auf die Polrohrwand wirkt, auch noch eine Löschmittel-Strömung auf, die parallel zur Polrohrwand verläuft. Infolge dieser Löschmittel-Strömung verringert sich der orthogonal zur Strömung wirkende Druck auf die Polrohrwand. Dagegen tritt an der Druckmeßstelle auf Erdpotential, die sich im Antriebsgehäuse des Schalters befindet, keine Strömung auf; es wirkt nur der Löschmittel-Druck auf den Druckwandler. Die Versuchsergebnisse sind für die weitere Schalterentwicklung von großem Nutzen und ermöglichen, neue Erkenntnisse über die physikalischen Vorgänge im Löschsystem des Schaltgeräts zu erlangen.

3. Weitere Anwendungsfälle im Hochspannungs-Hochleistungsprüffeld

Von besonderem Interesse wird zukünftig die Messung des Druckverlaufs an gleichzeitig mehreren Stellen der Löschkammer sein, insbesondere auch an der Einströmseite der Löschkammer. Dadurch wird es möglich, die Löschmittel-Strömung im Schalterpolrohr meßtechnisch zu ermitteln.
Neben der Messung des Löschmittel-Druckverlaufes auf Hochspannungspotential in ölarmen Leistungsschaltern ist vorgesehen, die optoelektronische Übertragungseinrichtung für weitere Anwendungsfälle, wie

- Messung des Spannungsverlaufs im Stromnulldurchgangsbereich (*SND*)
- Messung der Beschleunigung an der Generatorausleitung auf Hochspannungspotential
- Messung des Löschmittel-Druckverlaufs auf Hochspannungspotential in SF_6-isolierten Schaltanlagen
- Messung des Schwingstromes auf Hochspannungspotential bei synthetischen Prüfschaltungen

zu nutzen.

4. Zusammenfassung

Für eine optoelektronische Übertragung von auf Hochspannungspotential gemessenen Signalverläufen eignet sich besonders gut das Prinzip der Lichtmodulation innerhalb der Lichtquelle. Entsprechend den Anforderungen eines Hochspannungs-Hochleistungsprüffeldes und dem Stand der Technik werden als Strahlungssender Infrarot-Lumineszenzdioden (IR-LED), als Übertragungsstrecke Lichtwellenleiter und als Strahlungsempfänger Si-Fotodioden verwendet. Die Eigenschaften der LED bestimmen im wesentlichen die Anforderungen an das zu verwendende Modulationsverfahren. Nur die Verfahren der Pulsmodulation, insbesondere der Pulspositionsmodulation (PPM), können die gestellten Anforderungen optimal erfüllen. Die verwendete PPM besteht aus Impulsen, die die Breite $\tau = 100$ ns und die Frequenz $f_0 = 1{,}4$ MHz besitzen.
Die optoelektronische Übertragungseinrichtung wird realisiert entweder mit der IR-LED VQ 110 als Strahlungssender, mit Glasfaser-Bündelleiter der Länge von 2 m als Übertragungsstrecke und mit der Fotodiode SP 103 als Strahlungsempfänger oder mit der LED VQ 170, mit einem Lichtwellenleiter (200 µm-Step-Index-Faser) der Länge bis zu 100 m und mit der Fotodiode SP 107. Damit ist eine Registrierung der auf Hochspannungspotential gemessenen Signalverläufe im Frequenzbereich von 0···100 kHz möglich. In Versuchsmessungen wurde der Löschmittel-Druckverlauf erstmalig auf Hochspannungspotential in ölarmen Mittelspannungs-Leistungsschaltern des VEB Schaltgerätewerk Muskau unter Prüffeldbedingungen ermittelt. Der Druckverlauf im ölarmen Schalter wurde mittels Quarzkristall-Druckwandlers mit nachgeschaltetem Ladungsverstärker auf Hochspannungspotential gemessen, optoelektronisch übertragen und auf Erdpotential registriert.
Die aus der Messung des Löschmittel-Druckverlaufs auf Hochspannungspotential und aus dem Vergleich mit dem auf Erdpotential gemessenen Druckverlauf gemachten Aussagen werden diskutiert. Anschließend werden für die optoelektronische Übertragungseinrichtung weitere Anwendungsfälle aufgezeigt.

Literatur

[1] *Jahn, D.*: Analoge optoelektronische Meßübertragung von Hochspannungspotential in einem Hochleistungsprüffeld. ELEKTRIE, Berlin 35 (1981) 3, S. 123 – 126
[2] *Unger, H.-G.*: Optische Nachrichtentechnik. Berlin: Elitera-Verlag 1976
[3] *Witt, D.*: Lumineszenzdioden. Elektronik, München (1972) 11, S. 369 – 374
[4] *Jahn, D.*: Ein Verfahren zur optoelektronischen Übertragung für die Registrierung von auf Hochspannungspotential gemessenen Signalverläufen. Dissertation A, TH „Otto von Guericke" Magdeburg 1982
[5] Technische Spezifikation für Quarzkristall-Druckwandler QDE 12. Labor für Elektrophysik Dresden 1979
[6] Systemunterlagen für Ladungsverstärker LV 510 und Ladungskalibrator LK 510. Labor für Elektrophysik Dresden, 1980
[7] Bedienungsanleitung für Druckwaage Typ 3 PD 600. Prospekt des VEB Meßgerätewerk Beierfeld 1977

EA 5390

KDT-Fachliteratur

Elektrowärme

Tagungsband 72, Ausgabe Februar 1984, 139 Seiten, A 5, Preis: 40,— Mark

In der Broschüre, die anläßlich des 65. Geburtstages von Herrn Prof. Dr.-Ing. *E. Kolbe*, Technische Hochschule Ilmenau, herausgegeben worden ist, sind die neuen Erkenntnisse zum rationellen Energie- und Materialeinsatz bei der Entwicklung und beim Betrieb von elektro-thermischen Anlagen unter Berücksichtigung der Mikrorechnersteuerung in einzelnen Beiträgen aus Forschung und Industrie wiedergegeben. Ausführlich wird über die Entwicklung, den Betrieb und die Steuerung von induktiven und widerstandsbeheizten Erwärmungs- und Schmelzanlagen sowie von Lichtbogen-, Plasmaschmelz-, Ionen- und Elektronenstrahlanlagen berichtet.

Wir liefern direkt und kurzfristig

Kammer der Technik
Bezirksverband Suhl
Bereich Wissenschaft und Technik
6000 Suhl
Thälmannplatz 4

Ein modifiziertes Verfahren zur Bestimmung der Lichtbogenparameter nach der Methode der Stromüberlagerung[1)]

E. Anke, KDT; H. Mencke, KDT; F. Thiede, KDT; Berlin

Mitteilung aus dem Institut „Prüffeld für elektrische Hochleistungstechnik" Berlin

Verwendete Formelzeichen

g	Leitwert
τ	Zeitkonstante
P	Abgeführte Leistung
u_B	Bogenspannung
i_B	Bogenstrom
i	Hauptstrom
t	Zeit
L	Induktivität
$\hat{u}$	Scheitelwert der Spannung
u_c	Spannung am Kondensator
C	Kapazität
ω	Kreisfrequenz
τ_0, α, P_0, β	Konstanten der Lichtbogenparameter
i_1, i_2	Stromwerte bei g_1 und g_2

Die Entwicklung von Hochspannungs-Leistungsschaltern erfordert langwierige und aufwendige Prüfungen im Hochleistungsprüffeld. Mit mathematischer Modellierung und Vorausberechnung des Ausschaltvermögens eines Schalters kann der Aufwand stark reduziert werden. Als Eingabedaten für die Modellrechnung müssen die Lichtbogenparameter bekannt sein. Die experimentelle Ermittlung der Lichtbogenparameter ist deshalb ein zentrales Problem der mathematischen Modellierung und Vorausberechnung des Schalterverhaltens im Netz.

1. Einleitung

Die Fortschritte auf dem Gebiet der Meßtechnik und Rechentechnik gestatten es, neue wissenschaftlich fundierte Methoden in die Schalterentwicklung einzuführen. Das sind vor allem Methoden zur Rationalisierung der Entwicklungsarbeit, d.h. zur Einsparung an Prüfschichten und Verkürzung der Entwicklungszeit. Eine relativ einfache Methode zur Bewertung der Auswirkungen von konstruktiven Änderungen am Löschsystem eines Druckgasschalters auf das Schaltverhalten stellt das black-box-Modell (bb-Modell) oder phänomenologische Modell des Schaltlichtbogens dar [1]. Dabei wird das thermische Verhalten des Lichtbogens durch die verallgemeinerte Lichtbogengleichung mit den Parametern Lichtbogenzeitkonstante τ und vom Lichtbogen abgeführte Leistung P beschrieben. Das dielektrische Durchzünden ist im black-box-Modell bis auf erste Ansätze in [2] noch nicht enthalten.

2. black-box-Schaltermodell

Der Schaltlichtbogen wird durch die in [3] angegebene Form der verallgemeinerten Lichtbogengleichung mit den vom Leitwert g abhängenden Lichtbogenparameter beschrieben:

$$\frac{1}{g}\frac{\mathrm{d}g}{\mathrm{d}t} = \frac{1}{\tau(g)}\left[\frac{u_B i_B}{P(g)} - 1\right]. \tag{1}$$

Damit ist die Möglichkeit gegeben, in einem vorgegebenen Netz, z.B. dem Schaltfall Klemmenkurzschluß nach Bild 1, das Verhalten des durch diesen Schaltlichtbogen charakterisierten Schalters zu berechnen. Notwendig dazu ist die Kenntnis der Beziehungen $\tau(g)$ und $P(g)$, die sich erfahrungsgemäß als Potenzfunktionen darstellen lassen. Für den Fall des Klemmenkurzschlusses ergibt sich das folgende nichtlineare Differentialgleichungssystem:

$$\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = \frac{1}{L}\left[u - \frac{i_B}{g}\right] \tag{2}$$

$$\frac{\mathrm{d}u_c}{\mathrm{d}t} = \frac{1}{C}[i - i_B] \tag{3}$$

$$\frac{\mathrm{d}g}{\mathrm{d}t} = \frac{1}{\tau}\left[\frac{i_B^2}{P} - g\right] \tag{4}$$

$$i_B = \frac{u_c + i_R}{R + \frac{1}{g}} \tag{5}$$

$$u = \hat{U}\cos\omega t \tag{6}$$

$$\tau = \tau_0 g^{\alpha} \tag{7}$$

$$P = P_0 g^{\beta}. \tag{8}$$

Die Parameter τ_0, α, P_0 und β der Gleichungen (7) und (8) sind experimentell zu bestimmen, Dann kann das Gleichungssystem numerisch gelöst werden, wozu spezielle Lösungsverfahren steifer Differentialgleichungen notwendig sind.. Weitere Schaltfälle mit umfangreicheren Gleichungssystemen sind der Abstandskurzschluß, kleine induktive und kapazitive Ströme sowie Phasenopposition [4]. Von entscheidender Bedeutung ist aber nur die Berechnung des Schaltfalles Abstandskurzschluß, da die anderen Schaltfälle vor allem durch das dielektrische Verhalten bestimmt werden.

Die praktische Arbeit mit dem bb-Modell erfolgt in zwei Richtungen:

- Auswahl konstruktiver Varianten im Labor und
- Hochrechnung während der Entwicklungsprüfung im Hochleistungsprüffeld.

Beiden Richtungen gemeinsam ist die Notwendigkeit von Messungen am realen Schalter, denn das bb-Modell ist ein halbempirisches Modell und basiert auf der meßtechnischen Ermittlung weniger Parameter mit anschließender Berechnung des Ausschaltstromes. Im Labor werden an einem Schaltermodell konstruktive Varianten, wie Gasdruck, Düsengeometrie, Kontaktgeschwindigkeit usw., variiert, und nur mit der optimalen Variante beginnt die Prüfung im Hochleistungsprüffeld. Dabei werden die Parameter P und τ ebenfalls ermittelt und der Grenzausschaltstrom sowie weitere Schaltfälle vorausberechnet.

3. Bestimmung der Lichtbogenparameter

3.1. Ausschaltoszillogramme

Als Hauptproblem der Anwendung des bb-Modells hat sich die Ermittlung der Lichtbogenparameter erwiesen, da die aus der Literatur bekannten Verfahren bei der praktischen Anwendung gewisse Nachteile offenbaren, teilweise sogar falsche Ergebnisse liefern. Die Computersimulation des Verhaltens des Schaltlichtbogens in SF_6 zeigt aber, daß die Lichtbogenparameter sehr genau ermittelt werden müssen. Wird nur einer der 4 Parameter P_0, τ_0, β oder α verändert, so hat das z.B. folgende Auswirkungen auf den errechneten Grenzausschaltstrom des Schalters. Eine angenommene fehlerhafte Ermittlung nur des Parameters P_0 um $\pm$ 10% bewirkt eine Abweichung des berechneten Grenzausschaltstromes von $\pm$ 10%; bei τ_0 ergeben sich $\pm$ 15%, bei α und β aber wird ein um $\pm$ 30% abweichender Grenzausschaltstrom errechnet.

Die bereits erwähnten Nachteile der Verfahren zur Ermittlung der Lichtbogenparameter treten besonders bei der Auswertung von Ausschaltoszillogrammen bei Entwicklungsprüfungen im Hochleistungsprüffeld auf. Das Verfahren nach [5] benötigt Durchzünder, d.h. Schaltversager; es setzt gleiche Lichtbogenparameter vor und

---

Dr.-Ing. *Ekkehard Anke* ist Abteilungsleiter, Dr.-Ing. *Harald Mencke* und Dipl.-Phys. *Franz Thiede* sind Fachgebietsingenieure im Institut „Prüffeld für elektrische Hochleistungstechnik" Berlin.

Die Autoren bedanken sich bei Herrn Dipl.-Math. *R. Schlundt* vom Institut für Mathematik der Akademie der Wissenschaften der DDR für die Erstellung der Rechenprogramme.

Die Finanzierung der Arbeit erfolgte durch die Kooperationsgemeinschaft ELTRA.

[1)] Vortrag auf der 6. Tagung „Physik und Technik des Plasmas", Leipzig 5. bis 8. 7. 1982.

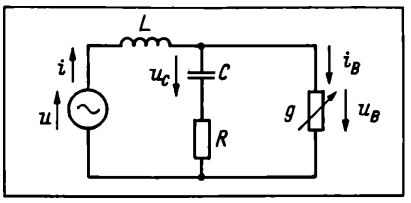


Bild 1. Ersatzschaltbild des Schaltfalls Klemmenkurzschluß

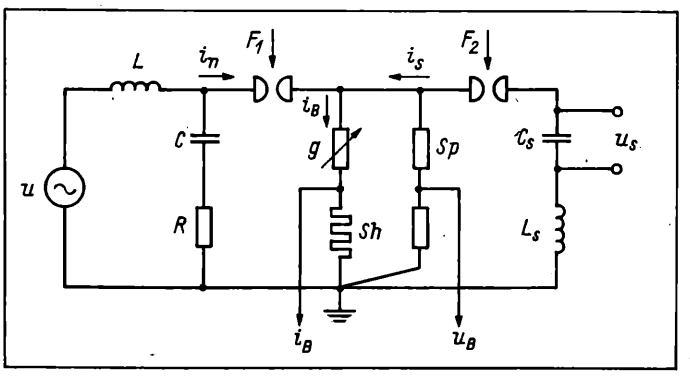
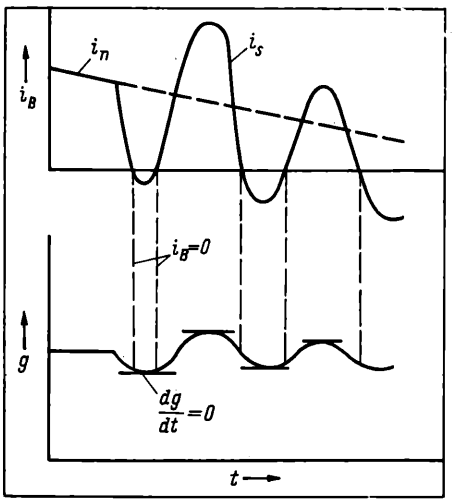


Bild 2. Schaltbild des Stromüberlagerungsverfahrens ▶



◀ **Bild 3.** Bestimmung der Lichtbogenparameter beim Stromüberlagerungsverfahren

nach Stromnull voraus. Aus dem Ausschaltoszillogramm einer gelungenen Abschaltung können nach dem Verfahren gemäß [6] die Parameter ermittelt werden. Es hat sich aber gezeigt, daß dieses Verfahren mit großen Fehlern behaftet sein kann [4] [7]. Ebenfalls nur ein Ausschaltoszillogramm benötigt das Verfahren nach [8], das allerdings die allgemein angenommene Potenzfunktion nach Gleichung (7) und (8) voraussetzt, wofür es keine physikalische Begründung gibt.

Angewendet werden kann das Verfahren nach [9], das von zwei unterschiedlichen Strömen bei gleichem Leitwert ausgeht und die gleichen Formeln wie [5] verwendet. Allerdings hat das Verfahren die große Schwierigkeit, daß zwei Ausschaltoszillogramme mit exakt gleichen Parametern (außer dem geschalteten Strom) vorliegen müssen, was hinsichtlich Kontaktabbrand, Lichtbogenlänge usw. nur unvollkommen zu realisieren ist. Die Lichtbogenparameter werden nach [5] und [9] ermittelt zu:

$$\tau = \frac{g\,[i_2^2 - i_1^2]}{i_1^2 \frac{\mathrm{d}g_2}{\mathrm{d}t} - i_2^2 \frac{\mathrm{d}g_1}{\mathrm{d}t}} \tag{9}$$

$$P = \frac{i_1^2 \frac{\mathrm{d}g_2}{\mathrm{d}t} - i_2^2 \frac{\mathrm{d}g_1}{\mathrm{d}t}}{g\left[\frac{\mathrm{d}g_2}{\mathrm{d}t} - \frac{\mathrm{d}g_1}{\mathrm{d}t}\right]}\,. \tag{10}$$

Problematisch ist die Differenz der Abteilungen im Nenner, die sich wenig voneinander unterscheiden, so daß geringfügige Ungenauigkeiten zu großen Fehlern führen.

3.2. Stromüberlagerungsverfahren

Mit dem Stromüberlagerungsverfahren nach [10] werden die Lichtbogenparameter eines Schalters bei relativ geringen Strömen in einem speziellen Prüfkreis (Bild 2) ermittelt. Der Prüfling (charakterisiert durch den Leitwert des Lichtbogens g) wird mit einem 50-Hz-Strom i_n (1 ··· 5 kA) belastet. Im gewählten Moment der Ermittlung der Lichtbogenparameter wird durch Zünden der Funkenstrecke $F\,2$ ein hochfrequenter Strom i_s überlagert. Zur Untersuchung von Druckluftschaltern ist eine Frequenz von 20 kHz ausreichend, für SF_6-Schalter mit wesentlich kleineren Zeitkonstanten sind etwa 70 kHz erforderlich. Strom und Spannung werden über Shunt *Sh* und Spannungsteiler *Sp* aufgezeichnet und der Leitwert des Lichtbogens berechnet. Die Lichtbogenparameter ergeben sich aus der Lichtbogengleichung (1) wie folgt:

$$\tau = -\frac{g}{\frac{\mathrm{d}g}{\mathrm{d}t}} \quad \text{für } i_B = 0 \tag{11}$$

$$P = u_B\, i_B \quad \text{für } \frac{\mathrm{d}g}{\mathrm{d}t} = 0\,. \tag{12}$$

Diese Beziehungen werden beim Stromüberlagerungsverfahren benutzt, indem künstlich Stellen mit $i_B = 0$ und $\mathrm{d}g/\mathrm{d}t = 0$ geschaffen werden (Bild 3).

Der Überlagerungsstrom darf den Plasmazustand nur geringfügig verändern, z. B. durch Aufheizen, denn er soll nur einen Meßstrom darstellen. Das schränkt das Verfahren auf relativ kleine Stromwerte ein, da Nulldurchgänge erzwungen werden müssen, und der nutzbare Leitwertbereich wird begrenzt.

Schwierig ist die Ermittlung der Zeitkonstanten, die gerade an der Stelle $i_B = 0$ erfolgen muß, an der der Leitwert g unbestimmt ist und interpoliert werden muß.

Ein praktisches Beispiel einer digitalen Strom-Spannungs-Aufzeichnung nach Bild 4 zeigt gerade an der Stelle $i_B = 0$ eine große Streuung des Leitwertes, während $\mathrm{d}g/\mathrm{d}t = 0$ gut zu ermitteln ist (die digitalen Meßwerte wurden hier nicht gezeichnet, da sie genau der Approximationskurve entsprechen). Damit ist die abgeführte Leistung P nach Gleichung (12) gut zu ermitteln, während die Bestimmung von τ nach Gleichung (11) nur sehr ungenau, in vielen Fällen überhaupt nicht möglich ist. Es ist noch zu beachten, daß das vorliegende Beispiel ein gelungenes Oszillogramm darstellt, während häufig durch parasitäre Induktivitäten und Kapazitäten geringe Phasenverschiebungen zwischen Strom und Spannung auftreten, die eine Ermittlung von τ an der Stelle $i_B = 0$ gänzlich unmöglich machen.

3.3. Modifiziertes Verfahren

Beim modifizierten Verfahren wird der Überlagerungsstrom zu einem gewählten Zeitpunkt zugeschaltet, ohne daß Nulldurchgänge des Stromes auftreten müssen, d. h., der Überlagerungsstrom kann klein gehalten werden und das Plasma wird nicht beeinflußt. Mit dem Überlagerungsstrom wird der Leitwertverlauf gewissermaßen abgetastet.

Die Ermittlung der Lichtbogenparameter erfolgt entsprechend Bild 5 in zwei voneinander unabhängigen Varianten. Es werden in der ersten Variante die Gleichungen (9) und (10) mit $g_1 = g_2 = g$ verwendet. Allerdings werden zwei Stellen gleichen Leitwertes g mit unterschiedlichem Vorzeichen der ersten Abteilung $\mathrm{d}g/\mathrm{d}t$ ausgewertet, so daß sich die Gleichungen (13) und (14) ergeben

$$\tau = \frac{g\,|i_2^2 - i_1^2|}{i_1^2 \left|\frac{\mathrm{d}g_2}{\mathrm{d}t}\right| + i_2^2 \left|\frac{\mathrm{d}g_1}{\mathrm{d}t}\right|} \tag{13}$$

$$P = \frac{i_1^2 \left|\frac{\mathrm{d}g_2}{\mathrm{d}t}\right| + i_2^2 \left|\frac{\mathrm{d}g_1}{\mathrm{d}t}\right|}{g\left[\left|\frac{\mathrm{d}g_2}{\mathrm{d}t}\right| + \left|\frac{\mathrm{d}g_1}{\mathrm{d}t}\right|\right]}\,. \tag{14}$$

Damit ist ein wesentlicher Nachteil bei der Anwendung dieses Verfahrens auf Ausschaltoszillogramme beseitigt, indem aus den Differenzen der Ableitung in Nenner Summen werden, wodurch sich Ungenauigkeiten bei der Bestimmung von $\mathrm{d}g/\mathrm{d}t$ wesentlich geringer

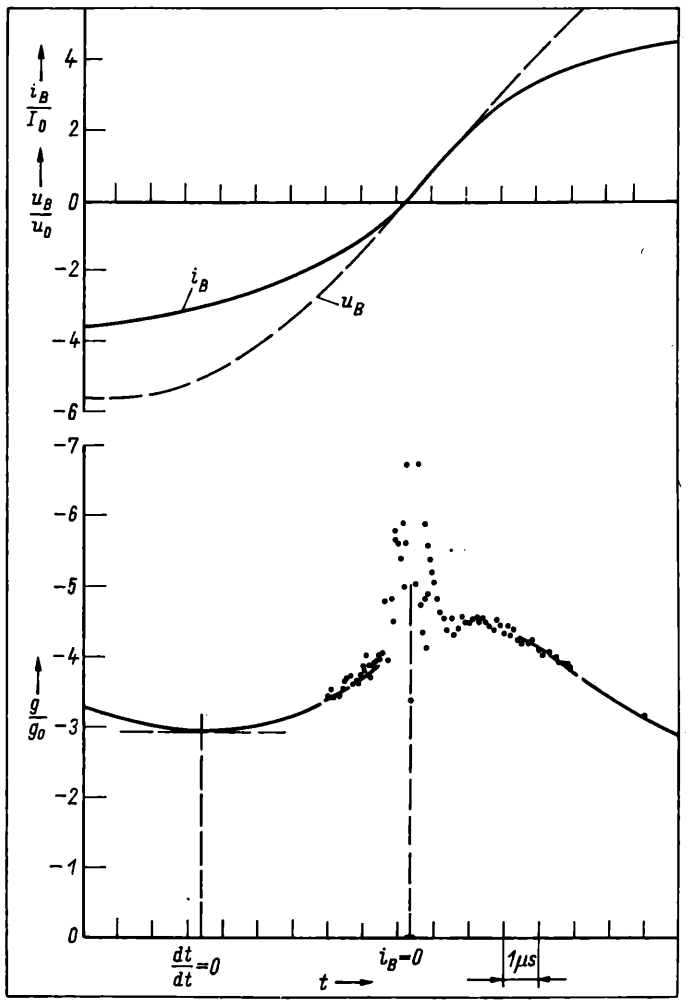


Bild 4. Strom, Spannung und Leitwert beim Stromüberlagerungsverfahren

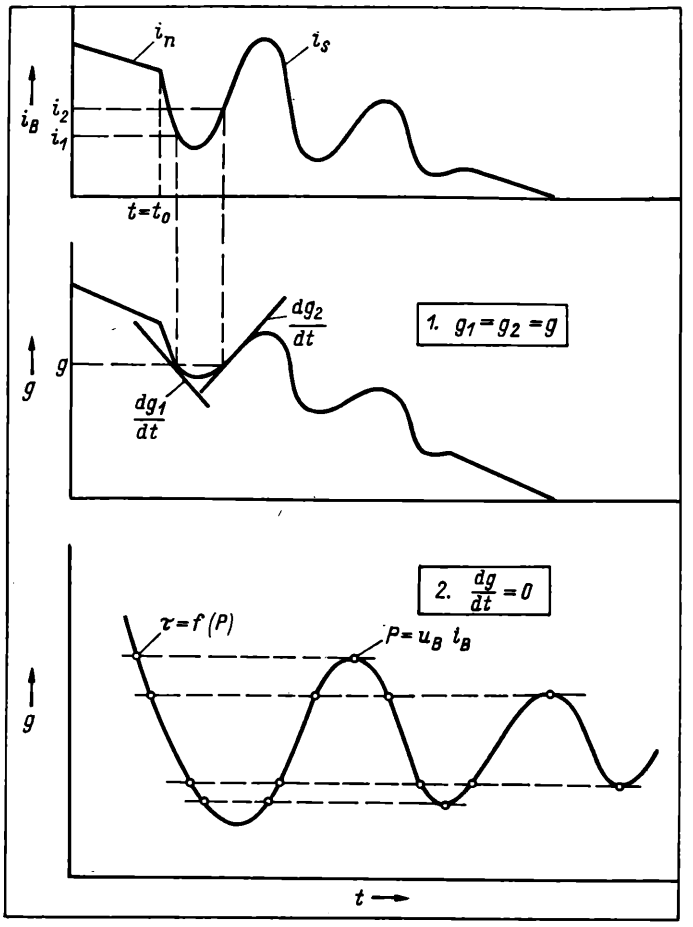


Bild 5. Modifiziertes Verfahren zur Bestimmung der Lichtbogenparameter

auf das Ergebnis auswirken. Die Differenz der Stromquadrate im Zähler ist unkritisch, da sich die beiden Stromwerte hinreichend voneinander unterscheiden.

In der zweiten Variante nach Bild 5 wird die abgeführte Leistung P entsprechend dem Stromüberlagerungsverfahren nach Gleichung (12) an den Stellen $\mathrm{d}g/\mathrm{d}t = 0$ errechnet. Die Zeitkonstante τ kann nicht nach Gleichung (11) ermittelt werden, da keine Stromnulldurchgänge auftreten. Aus der Lichtbogengleichung (1) folgt aber mit bekanntem P für die entsprechenden Leitwerte

$$\tau = \frac{g}{\frac{\mathrm{d}g}{\mathrm{d}t}}\left[\frac{i_B^2}{gP} - 1\right]. \qquad (15)$$

Damit werden bei beiden Varianten die Lichtbogenparameter gewonnen:

$$P, \tau = \mathrm{f}\left(i_B, g, \frac{\mathrm{d}g}{\mathrm{d}t}\right). \qquad (16)$$

Die Genauigkeit der Ergebnisse hängt vor allem von der Bestimmung von $\mathrm{d}g/\mathrm{d}t$ ab. Mit analoger Aufzeichnung von u_B und i_B und grafischer Ermittlung von $\mathrm{d}g/\mathrm{d}t$ sind nur sehr ungenaue Werte für P und τ zu erhalten. Zufriedenstellende Ergebnisse sind nur mit digitaler Aufzeichnung der Meßwerte und Auswertung über einen Digitalrechner zu erzielen. Die praktische Auswertung eines Oszillogramms erfolgt in folgenden Schritten:

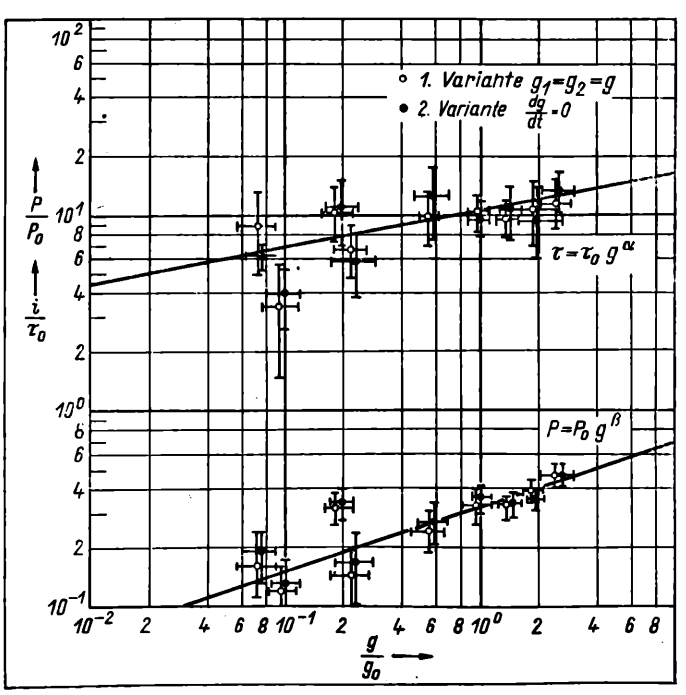
- Digitale Aufzeichnung von Strom i_B und Spannung u_B
- Einlesen der Meßwerte in den Rechner
- Berechnung des Leitwertes g
- Approximation von Strom i_B und Leitwert g durch Polynome
- Berechnung der Ableitung $\mathrm{d}g/\mathrm{d}t$
- Berechnung der Lichtbogenparameter P und τ nach *Variante 1*: Suche von Stellen gleichen Leitwertes $g_1 = g_2 = g$. Berechnung von P und τ entsprechend den Gleichungen (13) und (14) und *Variante 2:*

  Suche der Stellen $\frac{\mathrm{d}g}{\mathrm{d}t} = 0$ und der Stellen gleichen Leitwertes. Berechnung von P und τ entsprechend den Gleichungen (12) und (15)
- Statistische Auswertung aller Punkte eines Oszillogramms
- Ermittlung der Abhängigkeiten $P\,(g)$ und $\tau\,(g)$ aus den Ergebnissen verschiedener Oszillogramme.

Ein Beispiel der ermittelten Lichtbogenparameter eines SF_6-Schaltermodells zeigt Bild 6. Es ist zu erkennen, daß sich die nach den beiden Varianten des Verfahrens ermittelten Werte nur im Rahmen der statistischen Abweichung unterscheiden.

Fortsetzung auf Seite 331

Bild 6. Experimentell ermittelte Lichtbogenparameter eines SF_6-Schaltermodells



Untersuchungen zur Lichtbogenlöschung in kompakten Löschblechkammern von Niederspannungs-Leistungsschaltern

F. Beer, KDT, Berlin

Die Vorgänge in unmittelbarer Nähe des Stromnulldurchgangs sind entscheidend für die Lichtbogenlöschung bzw. -wiederzündung in einer Löschkammer. Um Aussagen für kompakte Löschblechkammern treffen zu können, wurden bis zum Grenzschaltvermögen derartiger Löscheinrichtungen Messungen der wiederkehrenden Spannung und des Lichtbogennachstroms im Mikrosekundenbereich durchgeführt.

1. Versuchs- und Meßaufbau

Die experimentellen Untersuchungen wurden einpolig an strombegrenzenden Leistungsschaltern in Kompaktbauweise der Nennstromstärken 25, 63 und 160 A vom Typ EBL des K EAW Berlin-Treptow bis zu Strömen von $I = 25$ kA gemacht. Die Prüfspannung betrug $U_p = 280$ bzw. 560 V (50 Hz) und der Leistungsfaktor $\cos \varphi = 0{,}35$. Die Lichtbogenlöschblechkammern dieser Schalter haben den in Bild 1 dargestellten prinzipiellen Aufbau und sind nach den in [1] und [2] angegebenen Bemessungsrichtlinien dimensioniert. Die Austrittsöffnungen betragen etwa 0,5 bis 1 % von der gesamten Oberfläche der Löscheinrichtungen. Die oszillografische Erfassung der wiederkehrenden Spannung erfolgte über einen Spannungsteiler auf Widerstandsbasis mit gutem Frequenzverhalten (Anstiegszeit $\tau = 1$ µs).
Die Nachströme wurden vergleichsweise durch zwei Einrichtungen mit gutem Frequenzverhalten ($\tau = 1$ µs) gemessen:

- einem sehr induktivitätsarmen Rohrshunt ($R = 0{,}7$ mΩ) und nachgeschaltetem Differenzverstärker mit massesymmetrischem Eingang in Form des Einschubs DV 301 für den Katodenstrahloszillograf OG2-31 [3], der Übersteuerungen (Faktor 10^4) verträgt
- einer Rogowski-Spule mit nachgeschaltetem Integrator auf Operationsverstärkerbasis (entspricht fiktivem Shunt $R = 32$ mΩ) [4].

Die Bereitschaltung der Speicheroszillografen erfolgte durch im Hauptstromprüfkreis angebrachte Reedkontakte, die Ansteuerung zur Auslösung kurz vor dem Stromnulldurchgang durch vormagnetisierte Kerne. Die Aufzeichnung von Strom und Spannung wurde getrennt je auf einem Katodenstrahloszillografen OG2-31 durchgeführt, die untereinander synchronisiert waren. Zwei Oszillografen waren deshalb notwendig, weil es sich bei diesem zur Verfügung stehenden Typ um keinen echten Zweistrahloszillografen handelt.

2. Aussagen zum Wiederzündmechanismus

Typische Verläufe der wiederkehrenden Spannung und des Lichtbogennachstroms bei Bogenlöschung bzw. Wiederzündung in kompakten Löschblechkammern sind in den Bildern 2 und 3 zusammengestellt worden.
Die Form der wiederkehrenden Spannung ist von den Parametern des Prüfstromkreises (Induktivitäten, Kapazitäten, ohmsche Widerstände) abhängig. Bei strombegrenzenden Leistungsschaltern kommt es infolge des hohen Bogenwiderstandes während der Stromhalbwelle zu einer zeitlichen Vorverlegung des Stromnulldurchgangs und damit zu einer Reduzierung der Wiederkehrspannung. Auf Grund der vorhandenen Restleitfähigkeit nach dem Stromnulldurchgang beobachtet man im Grenzschaltvermögensbereich aperiodische Einschwingspannungen.
Das Auftreten von Bogennachströmen weist auf einen energetischen Mechanismus hin. Aus der älteren Literatur ist bekannt, daß ein dielektrischer Mechanismus für eine Löschblechkammer bestimmend ist, der auf der Festigkeit der Katodenschichten der einzelnen Serienteillichtbögen im Löschblechkamm basiert. Allerdings wurden diese Untersuchungen bei niedrigeren Strömen als bei den vorliegenden Untersuchungen durchgeführt. In [5], [6] und insbesondere [7] sind bereits Angaben enthalten, daß sich bei größeren Ausschaltströmen (bis 8,5 kA) die höhere Temperatur der Restbogensäule, die in jeder der Teilstrecken nach Stromnullwerden herrscht, zusätzlich in einer Abnahme der gesamten dielektrischen Festigkeit der Löschanordnung bemerkbar macht. Die Wiederverfestigungsspannung

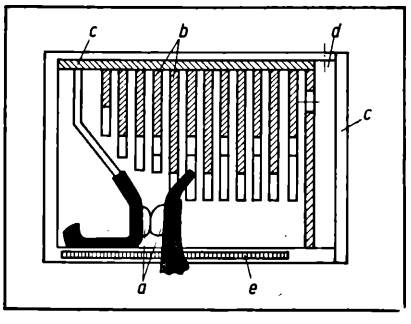


Bild 1. Kompakte Löschblechkammer
a Kontaktsystem
b Löschbleche
c Kammerwandung bzw. Gehäuse
d Austrittsöffnung
e Abdeckschieber, der vom beweglichen Schaltstück mitgeführt wird

Dr.-Ing. *Fritz Beer* ist Abteilungsleiter in der Entwicklungsabteilung „Niederspannungsschaltgeräte" im Zentrum Forschung und Technologie des Kombinates VEB Elektro-Apparate-Werke Berlin-Treptow „Friedrich Ebert".

Fortsetzung von Seite 330

Dabei wurden durch Variation des Zuschaltzeitpunktes des Überlagerungsstromes neun Oszillogramme in einem Leitwertbereich von zwei Dekaden ausgewertet.

4. Zusammenfassung

Die Anwendung des bb-Modells für die praktische Schalterentwicklung hängt wesentlich von der Ermittlung der Lichtbogenparameter ab. Da die bekannten Verfahren mit gewissen Nachteilen behaftet sind, wurde ein modifiziertes Verfahren geschaffen, das sich für die Entwicklungsarbeit eignet. Damit ist die Möglichkeit gegeben, das bb-Modell zur Auswahl konstruktiver Varianten routinemäßig anzuwenden.

Literatur

[1] *Anke, E.; Mencke, H.; Thiede, F.:* Anwendung von black-box-Modellen für die Schalterentwicklung. Wiss.-techn. Mitteilung des IPH Berlin (1983) 24 (in Vorbereitung)
[2] *Lipker, H.; Suiter, H.; Habedank, U.; Kugeler, R.; Lührmann, H.:* Studies of interruption of very high short-circuit currents 80 kA and 100 kA by SF_6 circuit-breakers. CIGRE 1982, Report 13 – 12
[3] *Schwarz, J.:* Berechnung von Schaltvorgängen mit einer zweifachen modifizierten Mayr-Gleichung. Dissertation TH Darmstadt 1973
[4] *Anke, E.; Mencke, H.:* Mathematische Modellierung verschiedener Schaltfälle von Hochspannungs-Hochleistungsschaltern. 4. Inter. Symp. on Switch. Arc Phenomena, Lodz 1981, S. 203 – 207
[5] *Amsinck, R.:* Verfahren zur Ermittlung der das Ausschaltverhalten bestimmenden Lichtbogenkenngrößen. ETZ-A 98 (1977) 8, S. 566 – 567
[6] *Zückler, K.:* Untersuchungen zum dynamischen Verhalten von Schalterlichtbögen. ETZ-A (1978) 9, S. 546 – 548
[7] *Sporckmann, B.:* Ein stochastisches Lichtbogenmodell zur Berechnung der Versagerwahrscheinlichkeit von Hochspannungsleistungsschaltern beim Unterbrechen von Kurzschlußströmen. Dissertation RWTH Aachen 1981
[8] *Mastni, W.; Havel, V.; Hrabowski, M.; Konrad, M.:* Die Anwendung des dynamischen Lichtbogenmodells zur Untersuchung von Hochspannungsschaltern. INTERELEKTRO-Konferenz über Hochspannungsapparate, Sofia 1980, S. 155 bis 157
[9] *Ruppe, R.:* Experimentelle und theoretische Untersuchungen am axial beströmten Wechselstromlichtbogen vor dem Stromnulldurchgang. Dissertation TH Ilmenau 1980
[10] *Rijanto, H.:* Bestimmung von Lichtbogenkenngrößen – Stromüberlagerungsverfahren. Dissertation TU Hannover 1975

EA 5311

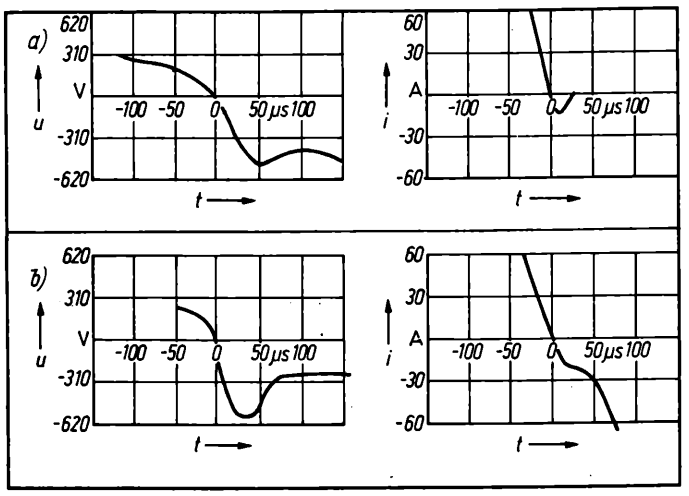


Bild 2. Oszillogramme vom EBL 63 (Messung des Nachstroms mit Shunt)
a) Lichtbogenlöschung ($i_N < i_{N\,krit}$)
U_p = 560 V; $\hat{I}_s$ = 5 kA
b) Lichtbogenwiederzündung ($i_N > i_{N\,krit}$)
U_p = 560 V; $\hat{I}_s$ = 7 kA

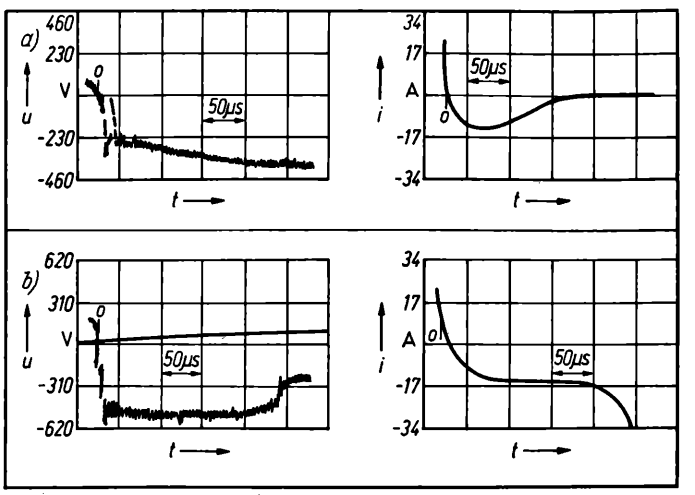


Bild 3. Oszillogramme vom EBL 160 (Messung des Nachstroms mit Rogowski-Spule)
a) Lichtbogenlöschung ($i_N < i_{N\,krit}$)
U_p = 280 V; $\hat{I}_s$ = 17 kA
b) Lichtbogenwiederzündung ($i_N \approx i_{N\,krit}$)
U_p = 560 V; $\hat{I}_s$ = 17 kA

sinkt auf Werte unter 100 V [8]. In kompakten Löschkammern kommt hinzu, daß das gesamte im relativ kleinen Volumen eingeschlossene Medium stark erhitzt wird bis zu mittleren Temperaturen von 2000°C, worauf auch der hohe Druck in der Kammer beruht [2].

Das alles führt dazu, daß nicht nur die Katodenschichten, sondern auch die Restbogensäulen maßgeblichen Einfluß auf das Löschen bzw. Wiederzünden des Lichtbogens haben. Beim Durchschlag der bei hohen Prüfströmen verringerten Festigkeit der Katodenschichten fließt ein Lichtbogennachstrom durch die Restbogensäulen. Bei Überwiegen der elektrischen Energiezufuhr über die Abkühlung der Restbogensäulen kommt es zu einer Wiederzündung. Das geschieht beim Überschreiten bestimmter kritischer Nachstromwerte. Diese Werte sind u.a. abhängig von der Schaltergröße und damit Löscheinrichtung, vom Durchlaßstrom, der Prüfspannung und vom Kammermaterial.

3. Ermittlung schalterspezifischer kritischer Nachstromwerte

Zur Bestimmung kritischer Nachstromwerte wurden für die zwei genannten Prüfspannungen an den EBL-Schaltern die Abhängigkeiten des Lichtbogennachstroms i_N vom Durchlaßstrom i_d ermittelt. Sie sind für den EBL 160 bzw. EBL 25 in den Bildern 4 bzw. 5 dargestellt. Die Werte der gemessenen Nachströme waren bei den einzelnen Prüfstromstärken und damit Durchlaßströmen unterschiedlich.

Bei der Löschblechkammer des Typs EBL 160 lagen die Nachströme bei U_p = 280 V bis zu einer Prüfstromstärke von etwa

Bild 4. Nachstromwerte vom EBL 160
(Nachstrom in Abhängigkeit vom Durchlaßstrom)
• O Shunt; × Ô Rogowski-Spule
a) U_p = 280 V; b) U_p = 560 V

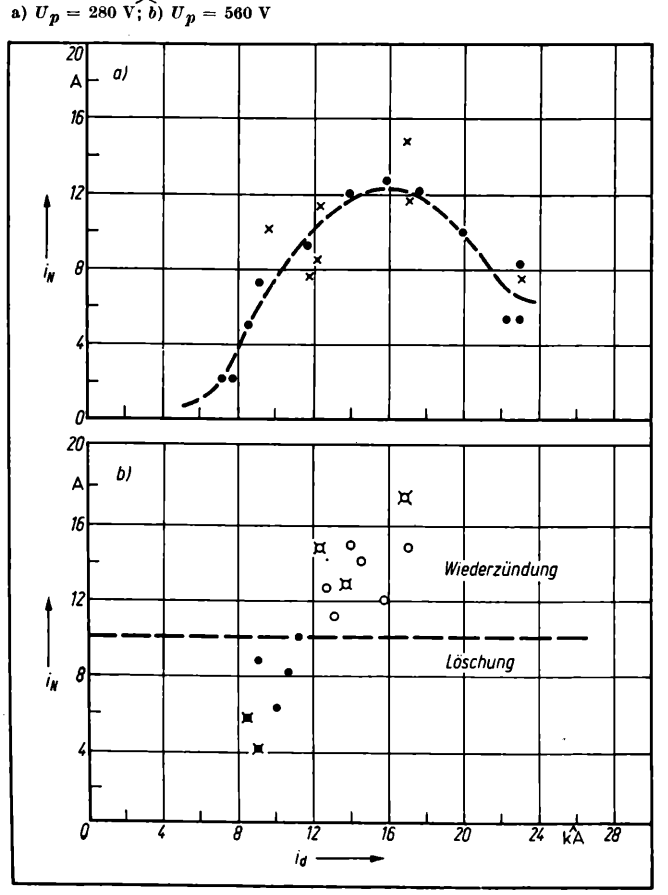
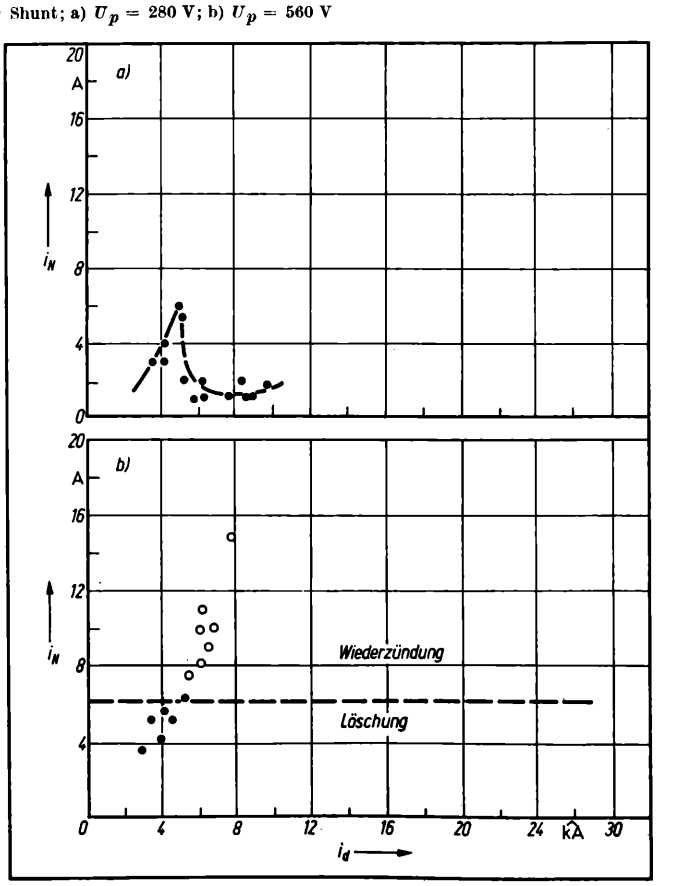


Bild 5. Nachstromwerte vom EBL 25
(Nachstrom in Abhängigkeit vom Durchlaßstrom)
• O Shunt; a) U_p = 280 V; b) U_p = 560 V



$I_{eff} = 10$ kA, das sind Durchlaßströme bis zu $i_d \approx 10\ \hat{kA}$, bei Werten von $i_N = 2$ bis 10 A; diese entsprechen etwa den Werten in [7]. Bei Erhöhung der Einstellströme bis zu $I_{eff} = 20$ kA, Durchlaßströmen bis 18 $\hat{kA}$, erreichten sie Stromstärken zwischen 10 und 15 A. Bei Einstellströmen $I_{eff} = 20$ bis 25 kA, Durchlaßströmen größer 18 $\hat{kA}$, wurden die Nachströme wieder geringer und betrugen 5 bis 8 A. Größere Einstellströme ließ die zur Verfügung stehende Prüfanlage nicht zu.

Mit steigenden Durchlaßströmen und damit steigender elektrischer Energiezufuhr in der Löschblechkammer wird zunächst die Restleitfähigkeit des Entladungskanals in unmittelbarer Nähe des Stromnulldurchgangs größer und damit auch die Nachströme. Das ist ein Strombereich ($i_d = 5$ bis 18 $\hat{kA}$), in dem der Lichtbogen noch nicht alle Bleche erfaßt und die Strombegrenzung noch nicht so stark wirksam ist.

Das Absinken der Nachströme bei höheren Strömen (Durchlaßströmen $> 18\ \hat{kA}$) wird dann beginnen, wenn der Lichtbogen alle Löschbleche anläuft und die Strombegrenzung stark wirksam wird. Der Nachstrom wird sowohl durch die Katodenschicht- als auch durch die Restsäulenwiderstände bestimmt. Die Energieabfuhr aus den Teilsäulen erfolgt durch Strahlung, Wärmeleitung in axialer Richtung zu den Löschblechen oder Lichtbogenhörnern und radial an die umgebenden Zonen, wobei diese wiederum einen Teil ihrer Energie an die Bleche und Kammerwände ableiten und durch Konvektion abgeben. Je mehr Löschbleche angelaufen werden, je höher wird der gesamte Katodenschichtwiderstand, je größer ist die Kühlung der Bogensäule, auch im Stromnulldurchgangsbereich, entsprechend niedriger ist der Nachstrom.

Hinzu kommt, daß durch den Lichtbogen bei großen Strömen eine stärkere Gasung aus den organischen Wänden der Löschblechkammer verursacht wird [2]. Diese Gase enthalten u.a. Wasserstoff, der eine 17mal größere Wärmeleitfähigkeit als Luft besitzt, wodurch eine intensive Kühlung des Bogenplasmas erfolgt. Da die Kammerwände auf Grund ihrer Wärmekapazität auch in der Nähe des Stromnulldurchgangs noch hoch erhitzt sind, dauert der Vorgang des Gasens auch in dieser für die Lichtbogenlöschung entscheidenden Phase an. Das bestätigten auch Zeitlupenfilmaufnahmen an Plexiglasspaltkammern in [9]. Sie zeigten, daß der stromschwache Bogen in Nähe des Stromnulldurchgangs Gasströmungen unterliegt, die sich in einer schnellen Verlängerung und ausgeprägten Kontraktion des Bogenkanals äußern. Das bedingt eine Verringerung der Restleitfähigkeit und damit der Nachstromwerte. Zu beachten sind weiter die Ergebnisse aus [2] und [10], daß mit wirksamer werdender Strombegrenzung die wiederkehrende Spannung kleiner wird und die Stromänderungsgeschwindigkeit di/dt sinkt, was eine kleinere Restleitfähigkeit des Entladungskanals in Nähe des Stromnulldurchgangs bedingt, beides Faktoren, die kleinere Nachströme verursachen.

Mit größer werdenden Einstell- und Durchlaßströmen werden auf Grund der erhöhten thermischen Beanspruchung der Schaltstrecke auch die Nachströme erneut und schließlich bis zum Wiederzünden ansteigen.

Die Messungen an der Löschblechkammer des EBL 25 ergaben bei $U_p = 280$ V bis zu Strömen von $I_{eff} = 3{,}5$ kA, das entspricht Durchlaßströmen bis $i_d = 5\ \hat{kA}$, Nachstromwerte von 2 bis 6 A. Bei gemessenen Strömen oberhalb $I_{eff} = 3{,}5$ kA bis $I_{eff} = 15$ kA, das ergibt Durchlaßströme zwischen 5 und 10 kA, wurden die Nachströme wieder kleiner. Sie betrugen in den meisten Fällen 1 bis 2 A. Das läßt sich wieder durch die bereits beim EBL 160 gemachten Ausführungen erklären. Zu Wiederzündungen kam es bei der Löschblechkammer des EBL 25 bei einer Prüfspannung von $U_p = 280$ V und Strömen bis $I_{eff} = 15$ kA ebenfalls nicht. Dabei wurde aber durch die starke Druckentwicklung innerhalb des kleinen Kammervolumens die Grenze für die mechanische Festigkeit der Kammer und des Isolierstoffgehäuses des Schalters erreicht.

Mit $U_p = 560$ V wurden beide Schalter weiter geprüft. Dabei kam es in der Löschblechkammer des Schalters EBL 160 bei einer Stromstärke von $I_{eff} = 8{,}5$ kA des eingestellten Prüfstromes (Durchlaßströmen $i_d \approx 14\ \hat{kA}$) zu Wiederzündungen, bei der Löschblechkammer des Schalters EBL 25 bei Stromstärken $I_{eff} = 3{,}5$ kA (Durchlaßströmen $i_d \approx 6\ \hat{kA}$).

Die bei Wiederzündungen aufgetretenen Nachströme sind in ihren Werten größer als bei Lichtbogenlöschungen. Es können somit kritische Nachstromamplituden angegeben werden, die schalterspezifisch sind und bei deren Überschreiten eine Wiederzündung auftritt. Sie sind ein Maß für die Grenzleistung bzw. das Grenzschaltvermögen eines Schalters. Damit ergibt sich durch Nachstrommessungen die Möglichkeit, zerstörungsfreie Prüfungen in der Nähe des Grenzschaltvermögens durchführen zu können; Untersuchungen, die zur Erhöhung der Zuverlässigkeit von Schaltgeräten beitragen.

Im Rahmen dieser Arbeit konnten Richtwerte für die kritischen Nachströme durch einpolige Untersuchungen bei einer Prüfspannung von $U_p = 560$ V ermittelt werden (z.B. $i_{N\,krit} = 10$ A für EBL 160, $i_{N\,krit} = 6$ A für EBL 25), die als Ausgangspunkt für umfangreichere Untersuchungen an Kompaktschaltern bei Nennspannungen von $U_N = 380$ V, $U_N = 500$ V und $U_N = 660$ V und höheren Prüfströmen zu betrachten sind.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß für die Löschung des Wechselstromschaltlichtbogens in kompakten Löschblechkammern nicht nur die im Löschblechkamm in Reihe geschalteten Katodenschichten maßgeblichen Einfluß haben, sondern auch die Restbogensäulen. Beim Überschreiten bestimmter kritischer Nachstromwerte kommt es zu Wiederzündungen. Diese Werte sind schalterspezifisch und können als Kennwerte für zerstörungsfreie Schalterprüfungen im Grenzleistungsbereich benutzt werden.

Literatur

[1] *Burkhardt, G.:* Über das Lichtbogenverhalten in Löschkammern und deren Bemessung. Dissertation, HfE Ilmenau 1962

[2] *Beer, F.:* Die Druckentwicklung während des Ausschaltvorgangs in geschlossenen Niederspannungs-Lichtbogenlöschkammern und ihre Berücksichtigung bei deren Dimensionierung. Dissertation TH Ilmenau 1973

[3] Beschreibung für Differenzverstärker DV 301. RFT-Schrift 48/73

[4] *Keitel, J.; Beer, F.; Wernecke, W.:* Strommessung mittels Rogowski-Spule. ELEKTRIE 33 (1979) 5, S. 251 – 253

[5] *Olschewski, H.:* Über die Wiederverfestigung von zwischen Eisenblechen erloschenen Lichtbogenstrecken. Die elektrische Ausrüstung 9 (1968) 6, S. 166 – 170

[6] *Schmelzle, M.:* Grenzen der Selbstlöschung kurzer Lichtbogenstrecken bei Wechselstrombelastung. Dissertation TH Braunschweig 1968

[7] *Lindmayer, M.:* Über die Vorgänge bei der Lichtbogenlöschung in kompakten Löschblechkammern bei Wechselströmen zwischen 2,5 und 8,5 kA. Dissertation TU Braunschweig 1972

[8] *Taev, I. S.:* Zur Theorie der Lichtbogen-Löscheinrichtungen mit Mehrfachunterbrechung. Elektrotechnika 37 (1966) 2, S. 29 – 32

[9] *Keitel, J.:* Über die Löschvorgänge des Niederspannungs-Wechselstromlichtbogens in Isolierstoffspaltkammern. Dissertation TH Ilmenau 1970

[10] *Fiedler, H.:* Einschwingvorgänge nach Kurzschlußabschaltungen in Niederspannungsnetzen. ELEKTRIE, Berlin 28 (1974) 7, S. 352 – 355

EA 5226

KDT-Fachliteratur

Beanspruchung von elektrotechnischen Anlagen

KDT-Arbeitsmaterial, Ausgabe Juni 1984, 33 Seiten, A 5, Preis: 15,— Mark

In diesem KDT-Arbeitsmaterial sind ausgewählte Probleme der Beanspruchung elektrotechnischer Anlagen für den Elektroprojektanten zusammengestellt. Es handelt sich im wesentlichen um Forschungs- und Arbeitsergebnisse die die Technische Hochschule Ilmenau im Zusammenwirken mit den Industriepartnern an Hand von Beispielen vorstellt. Es werden Verfahren zur Bestimmung der minimalen Fehlerströme in Drehstrom-Niederspannungs-Anlagen, zur Bestimmung unsymmetrischer Belastungen, Beispiele für das Beherrschen von Netzrückwirkungen, Hilfsmittel zur Projektierung statischer Kompensationsanlagen für Stromrichter sowie Bemessungsverfahren für elektrotechnische Betriebsmittel und Kabel vorgestellt.

Wir liefern direkt und kurzfristig

Kammer der Technik
Bezirksverband Suhl
Bereich Wissenschaft und Technik
6000 Suhl
Thälmannplatz 4

Modellierung des dielektrischen Wiederzündens von beströmten Leistungsschaltstrecken

L. Rothhardt, Jena

1. Einführung

Die Problematik des Wiederzündens in Leistungsschaltern [1] bis [4] wird durch den Trend zu immer höheren abzuschaltenden Leistungen und zu immer höheren Spannungen je Schaltkammer merklich verschärft. Traten bei geringeren Leistungen und Schaltkammerspannungen vor allem Wiederzündungen vom thermischen Typ auf (infolge Aufheizung des verbleibenden leitfähigen Restbogens durch die wiederkehrende Spannung), so werden nun Wiederzündungen vom dielektrischen Typ, d.h. durch elektrischen Durchbruch durch das noch heiße, aber nicht mehr leitfähige Löschgas in der Schaltkammer häufiger. Diese Erscheinungen treten in der Spätphase des Löschprozesses auf. Dabei zeigt sich ebenso deutlich wie beim thermischen Wiederzünden der stochastische Einfluß, den das turbulent strömende Löschgas ausübt [5].

Um das Verhalten von Leistungsschaltern in elektrischen Netzen numerisch modellieren zu können, werden sie als Zweipol aufgefaßt und als black box mit wenigen Kennzahlen beschrieben, so daß der zeitliche Verlauf des Leitwertes $G(t)$ einer einfachen Differentialgleichung gehorcht:

$$\frac{1}{G}\frac{\mathrm{d}G}{\mathrm{d}t} = \frac{u\,i}{P\,\tau} - \frac{1}{\tau}. \tag{1}$$

Hierin sind neben Strom i und Spannung u die beiden Kennzahlen thermische Zeitkonstante τ und Verlustleistung P des Bogens enthalten, die inzwischen als Funktionen von G aufgefaßt werden [6] [7]. Derartige bb-Modelle erlauben die Behandlung des Verlöschens und des thermischen Wiederzündens eines Schalters im Netz, indem man Gl. (1) mit weiteren Gleichungen für das elektrische Netz verkoppelt.

Eine Einbeziehung der stochastischen Wirkungen des Löschgases in Gl. (1) gelingt ohne Schwierigkeiten, indem das letzte Glied stochastisch gestört wird gemäß

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_0}(1 + \xi). \tag{2}$$

ξ ist hierin eine stochastische Funktion mit vorgegebener Streubreite und vorgegebener Korrelationszeit [5], [8c].

Eine Einbeziehung des dielektrischen Wiederzündens in ein bb-Modell ist erstrebenswert. Daher werden im folgenden Experimente zum dielektrischen Wiederzünden in einer Modellanordnung geschildert, theoretische Modelle hierzu diskutiert und ein Ausblick auf Anwendungsmöglichkeiten im Prüffeld gegeben.

2. Modellexperimente

Die Experimente zum dielektrischen Wiederzünden wurden mit schnell abgeschalteten 70-A-Bögen in turbulenter axialer Löschgasströmung durchgeführt. Als Löschgas diente Stickstoff, der wie in [8] durch einen Quarzkanal mit einem inneren Durchmesser von 12,5 mm längs des brennenden bzw. abklingenden Bogens geblasen wurde. Der Elektrodenabstand betrug in jedem Falle 9 cm. Bild 1 zeigt den elektrischen Kreis zum Betrieb und zum schnellen Abschalten des Bogens. Ein Leistungsgenerator G dient als Gleichstromquelle. Auf Grund seiner hohen Eigeninduktivität arbeitet er im Zeitraum eines Wiederzündexperimentes (ms Zeitmaß) wie eine Konstantstromquelle. Eine weitere Stabilisierung des Bogens erfolgt mit einem Vorwiderstand R_V. Vor dem Zünden des Bogens (mit Hilfe eines aus der Bogenstrecke gezogenen Zündstabes) wird der Thyristor T_1 aufgesteuert. Thyristor T_2 bleibt nichtleitend.

Dr. sc. nat. *Ludwig Rothhardt* ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Physikalisch-Technischen Institut Jena der Akademie der Wissenschaften der DDR.

Das schnelle Abschalten des beströmten Bogens erfolgt durch Stromkommutation in einen parallel liegenden Kondensator C durch Öffnen des Thyristors T_2. Auf Grund der Kreisinduktivität der Anordnung L ergibt sich kurzzeitig (µs-Zeitmaß) über dem Thyristor T_1, der nicht mehr aufgesteuert wird, und den zur Erhöhung der Spannungsfestigkeit eingesetzten Dioden D eine Gegenspannung, die eine hochohmige Trennung der zu testenden Elektrodenstrecke (mit dem abklingenden Bogenplasma) vom Kommutierungskreis sichert. Die Messung der Durchbruchsspannung der Elektrodenstrecke K-A erfolgt dann zu einer gewählten Zeit nach Stromnull mit Hilfe einer 20 kV-Rampe, die wegen der T_1-D-D-Strecke nicht merklich zusätzlich belastet wird. Der Spannungsanstieg erfolgt dabei mit 1 kV/µs. Bild 2 zeigt Ergebnisse derartiger Messungen.

Folgende Tendenzen sind deutlich zu erkennen:

- Die Wiederverfestigung (Anstieg der Durchbruchspannung) erfolgt nach einer gewissen Verzugszeit sehr schnell.
- Mit wachsender Beblasung verringert sich diese Verzugszeit.
- Der Verlauf der Wiederverfestigung besitzt eine gewisse Streubreite, die sich mit wachsender Beströmung deutlich verringert.

3. Theoretische Modelle

3.1. bb-Modell

Bisher wurde das bb-Modell nur zur näherungsweisen Beschreibung des Löschvorganges um Strom-Null und des thermischen Wiederzündens angewandt. Eine formale Einbeziehung des dielektrischen

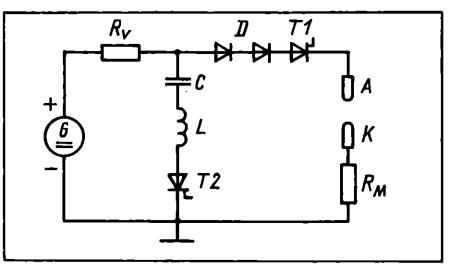
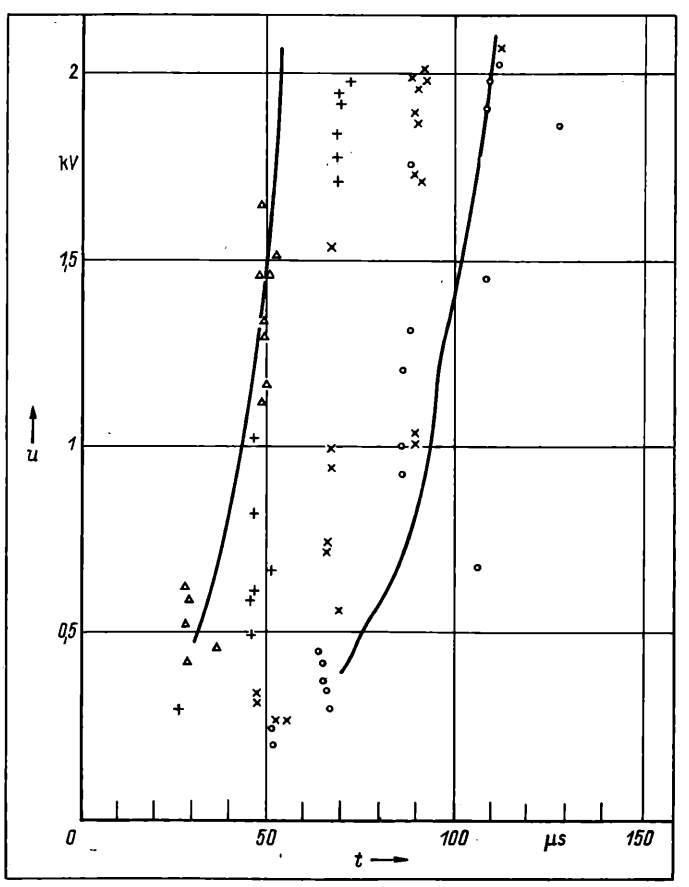


Bild 1. Prinzipschaltbild des Bogenbetriebskreises mit Kommutierungszweig zur Realisierung einer schnellen Stromlosigkeit
G Gleichstromgenerator; A, K Bogenelektroden; R_p Vorwiderstand; T_i Thyristoren; C Kommutierungskapazität; L Induktivität des Kommutierungskreises; D Dioden

Bild 2. Diagramm der gemessenen elektrischen Festigkeiten in Abhängigkeit von der Zeit nach Strom-Null: Parameter: Massendurchsatz, 0 1,5 g/s; x 3 g/s; + 6 g/s; Δ 9 g/s



Wiederzündens wurde nur in einem Falle [10] durch empirische Erweiterung einer Lichtbogengleichung (Gl. (1)) um einen Zusatzterm

$$+f\frac{P}{G\,u_D^2}\left(\frac{u}{u_D}\right)^2\frac{1}{\tau} \tag{3}$$

erreicht, der im kritischen Zustand einen Vorzeichenwechsel des dG/dt bewirkt. Die Autoren betonen das Fehlen jeglicher physikalischer Interpretation.

Eine solche Interpretation kann aber durch Umschreiben der modifizierten Lichtbogengleichung und Einarbeitung der im Text enthaltenen Informationen (z.B. über den exponentiellen Charakter der Funktion f) durchaus gegeben werden: Es wird die an den Elektronen anliegende Spannung u mit einem mit der Zeitkonstante τ_2 exponentiell ansteigenden kritischen Wert ins Verhältnis gesetzt und bei Gleichheit der beiden Werte der obengenannte Vorzeichenwechsel in der zeitlichen Leitwertänderung ausgelöst.

Es liegt nun sehr nahe, die beiden Teilaufgaben des erweiterten bb-Modells ($G\,(t)$-Verlauf rechnen; dielektrische Festigkeit kontrollieren) in der numerischen Rechnung entkoppelt zu lösen, indem man

1. $G\,(t)$ im Verlaufe des Löschprozesses mit der gemäß (2) erweiterten Lichtbogengleichung (1) rechnet (wie in [8] geschehen) und nach Abklingen des G unterhalb des beim thermischen Wiederzünden erkennbaren Grenzwertes
2. einen Vergleich der Elektrodenspannung mit einer zeitlich veränderlichen kritischen Größe durchführt und bei Überschreitung dieses kritischen Wertes ins Bogenregime zurückschaltet.

Im Sinne der in [10] vermittelten Vorstellungen könnte diese kritische Größe als

$$U_{\mathrm{krit}} = U_2 \exp\,(t/\tau_2) \tag{4}$$

angesetzt werden. Noch günstiger erscheint es aber, den $G\,(t)$-Verlauf (als Maß für die Gastemperatur bzw. die reziproke Gasdichte im Kern des abklingenden Bogenrestplasmas) im stochastischen Modell formal und extrapolierend weiterzurechnen und wegen des näherungsweise exponentiellen Anwachsens von U_{krit}, und von G^{-1} (allerdings mit unterschiedlichem Zeitmaß: $\tau_2 = \tau/\alpha$) eine kritische Spannung gemäß

$$U_{\mathrm{krit}} = U_1\,G^{-\alpha}$$

anzusetzen. Hierbei bleibt die durch den Löschgasstrom hervorgerufene Stochastik auch in der Spätphase des Wiederzündens (über $G\,(t)$) berücksichtigt. Bild 3 zeigt den Programmablaufplan für ein derartig strukturiertes numerisches Modell, in dem die Lichtbogendifferentialgleichung durch eine entsprechende Differenzengleichung

$$G\,(L+1) = G\,(L) + [K\,1 - G\,(L) \times (1 + XI)] \times T \tag{6}$$

ersetzt ist (s. [8]). In diesem Zusammenhang ist $G = g/g_0$ der auf den Mittelwert bezogene Leitwert des Bogens, L ist das Zeitmaß mit der Einheit $T \cdot \tau$, $K\,1 = \frac{Gui}{P}$ stellt den Quellterm für die Bogenenergie und XI die Störgröße in der Differenzengleichung dar.

Bild 4 zeigt beispielhaft Ergebnisse von Modellrechnungen zu den im Abschn. 2 geschilderten Experimenten mit steifer Testspannung. Zur Verdeutlichung der stochastischen Einflüsse wurde die Geschwindigkeit des Spannungsanstieges vermindert. Die Stochastik auch in der Spätphase des Löschprozesses ist nicht zu übersehen.

3.2. Physikalisch-mathematisches Modell

Die physikalisch-mathematische Modellierung des dielektrischen Wiederzündens ist äußerst problematisch [3]. In letzter Zeit wurden aber die Spätphasen des Löschprozesses und das dielektrische Wiederzünden doch eingehend untersucht [11]. Eine ausführliche Auswertung ist an dieser Stelle nicht möglich. Es sollen nur zwei wesentliche Erkenntnisse hervorgehoben werden:

1. Die elektrische Wiederverfestigung erfolgt (insbesondere bei polyatomaren Molekülgasen wie SF_6 als Löschgas) mit einem komplizierteren Zeitverlauf als in Abschnitt 3.1. angesetzt.
   Im Temperaturbereich der Rekombination besitzt die Verfestigungskurve einen Sattel.
2. Inhomogene Strömungsfelder (z.B. in Doppeldüsenanordnungen) besitzen stagnierende Gebiete mit heißem Gas, in die die Turbulenz des Kühlgasstromes kaum eingreift, so daß sich der unter 1. genannte Effekt noch verstärkt.

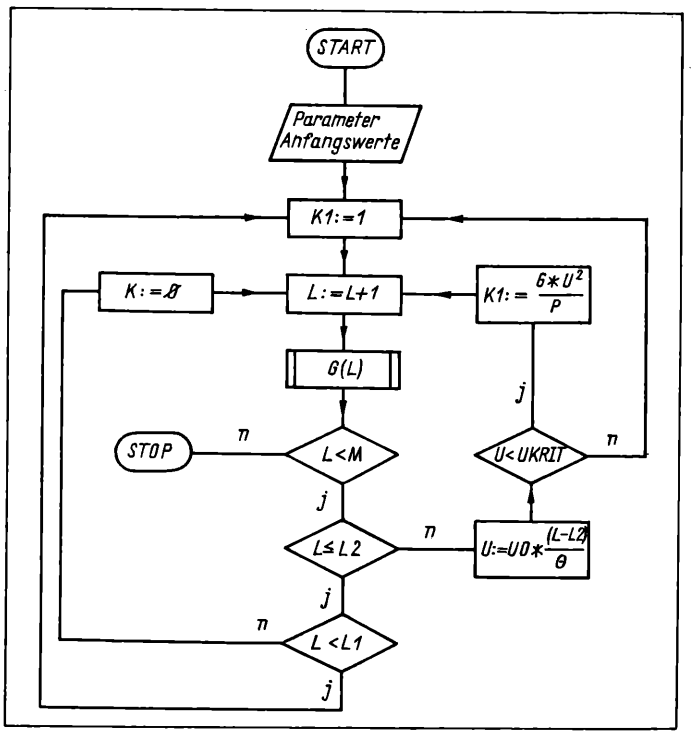
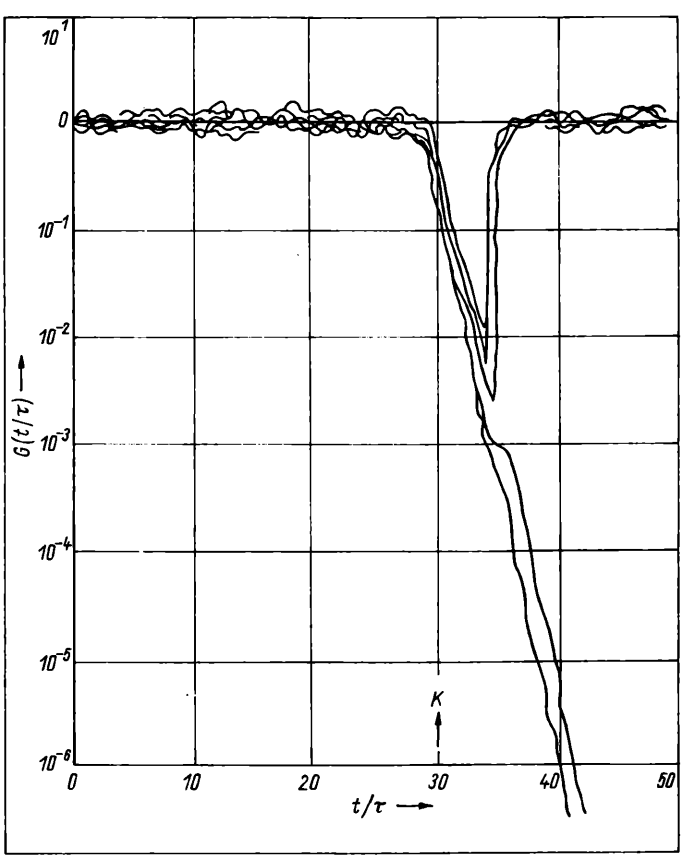


Bild 3. Programmablaufplan für die bb-Modellrechnungen zu den Experimenten des Abschnitts 2

Diese Kenntnisse können in unser erweitertes bb-Modell in zwei Varianten aufgenommen werden: Man kann nach [11] die untere Grenzkurve des Verfestigungsdiagrammes als verbindlich für Modellrechnungen übernehmen oder man ermittelt Mittelwert und Standardabweichung der Wiederzündspannungswerte und baut damit ein auch in dielektrischer Hinsicht stochastisches Modell auf. Offenbar wird der vollstochastische Weg für die Praxis zu aufwendig,

Bild 4. Ergebnisse von bb-Modellrechnungen zum dielektrischen Wiederzünden gemäß Bild 3 für feste äußere Parameter und eine steife wiederkehrende Spannung ohne Totzeit im stochastisch deutlich beeinflußten kritischen Bereich.
$D = 0{,}3$; $\tau_{\mathrm{Korr}}/\tau = 1$; $0/\tau = 1$; $\alpha = 1$



während die Einbeziehung der Wiederzündgrenzkurven leicht möglich ist.

4. Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wurde versucht, die numerische black-box-Modellierung des Schaltlichtbogens durch Einbeziehung der Stochastik (des Bogenabklingens [5] [8c, d]) und des dielektrischen Wiederzündens bis an die Grenzen seiner Erweiterbarkeit zu führen und dabei doch handhabbar für den Praktiker zu lassen. Die dabei entwickelten Vorstellungen stützen sich auf parallel geführte Modellexperimente.
In der hier vorgeschlagenen Form werden folgende Prüffeldaktivitäten für die numerische Modellierung eines Leistungsschalters benötigt:

1. Bestimmung der Grundparameter Verlustleistung $P(G)$ und „thermische Zeitkonstante" $\tau(G)$ wie im klassischen bb-Modell [6] [7].
2. Bestimmung der Dispersion D und der Korrelationszeit $\tau_{\text{Korr.}}$ der stochastischen Funktion ξ (mit relativ stromschwachen Gleichstrombögen [8] [9]).
3. Aufnahme der Wiederverfestigungscharakteristik nach erfolgreichem Abschalten. (Dies kann, wie am experimentellen Modell im Abschn. 2 gezeigt, praktisch leistungslos und ohne Gefährdung des Testobjektes erfolgen.)

Mit diesen Informationen kann dann eine bb-Modellierung des Schaltverhaltens im Netz rein numerisch ohne Einschränkung erfolgen.

Literatur

[1] *Schulze, H.:* Technik der Wechselstrom-Hochspannungsschalter. Berlin: VEB Verlag Technik 1966
[2] *Flurscheim, C. H.* (Hrsg.): Power circuit breaker theory and design. P. Peregrinus Ltd., 1975, Russ. Übers. Moskau: Energoizdat 1982
[3] *Ragaller, K.* (Hrsg.): Current interruption in high-voltage networks. New York/London: Plenum Press 1978
[4] *Rutscher, A.; Deutsch, H.* (Hrsg): Wissensspeicher Plasmatechnik, Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1983
[5] *Rothhardt, L.:* Stochastische Modellierung des Schaltlichtbogens, ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 2, S. 57 – 59
[6] *Schwarz, J.:* Berechnung von Schaltvorgängen mit einer zweifach modifizierten Mayr-Gleichung. ETZ-A 93 (1972), S. 386 – 389
[7] *Pietsch, G.; Rijanto, H.; Thiel, H. G.:* Schaltlichtbogen im elektrischen Netz. ETZ-A 96 (1975), S. 222 – 226
[8] *Rothhardt, L.;* u. a.: Gestörte Bögen in turbulenter axialer Gasströmung, Teil 1: Gemittelte Größen und Leistungsbilanz, Beitr. Plasmaphysik 24 (1984) 2, Teil 2: Fluktuierende lokale Größen, Beitr. Plasmaphysik 24 (1984) 3, Teil 3: Numerische Simulation stochastisch gestörter Bogenentladungen, Beitr. Plasmaphysik 24 (1984) 3, Teil 4: Thermische Wiederzündversuche, Beitr. Plasmaphysik in Vorbereitung)
[9] *Rothhardt, L.:* Auto- und Kreuzkorrelation von Entladungsstrom und Brennspannung turbulent axial angeströmter Lichtbögen, Experm. Technik d. Physik (eingereicht)
[10] *Lipken, H.; Suiter, H.; Habedank, U.; Kugler, R.; Lührmann, H.:* Studies of interruption of very high short circuit currents 80 kA and 100 kA by SF_6 circuit breakers. CIGRE-Report 13 – 12, 1982
[11] *Schade, E.; Ragaller, K.:* Dielektric recovery period of axially blown SF_6 switchgear arcs. 7th Int. Conf. Gas Discharges, IEEE, London 1982, Proceedings, S. 100 – 103 sowie: IEEE Transact. Plasma Sci. PS-10 (1982), S. 141 – 172

EA 5396

Hinweis für alle Bezieher im Ausland!

Bitte erneuern Sie rechtzeitig Ihr Abonnement für die Fachzeitschrift ELEKTRIE, damit Sie sich für 1985 wieder den Bezug aller Ausgaben sichern. Wir freuen uns, daß Sie auch weiterhin zu den regelmäßigen Lesern unserer Publikation gehören.

Rendezvoussteuerung einer rotierenden Walzwerksschere mit Mikrorechnern

U. Riefenstahl, KDT; R. Hansen, KDT; Magdeburg

Verwendete Formelzeichen

a_S	Sollwert der Scherenbeschleunigung
a_{Sgr}	Grenzwert der Scherenbeschleunigung
K_{MVS}	Faktor zur Weginkrement- und Datenformatanpassung, Vorlaufeinstellung sowie zur Schlupfkompensation
K_V	Vorlauffaktor, $K_V = 1{,}1 \cdots 1{,}5$
K_{Schl}	Schlupfkorrekturfaktor
s_{An}	Scherenanlaufweg
s_{Br}	Scherenbremsweg
s_{GLB}	Scherengleichlaufweg am Beginn des Schnittvorganges
s_{GLE}	Scherengleichlaufweg am Ende des Schnittvorganges
s_H	Walzgutvorlaufweg, $s_H = s_W K_V$
s_{HP}	Ausgangsgröße des Walzgutweg-Predictors
s_{HZ}	Schnittlänge multipliziert mit dem Vorlauffaktor K_V, $s_{HZ} = s_{WZ} K_V$
s_R	Scherenrücklaufweg
s_S	Scherenweg
$s_{Sgr}^{(\nu)}$	Begrenzung der ν-ten Zustandsgröße des Scherenantriebes
s_{SP}	Ausgangsgröße des Scherenweg-Predictors
s_{SZ}	Länge der Scherenmesser-Bahn
s_W	Walzgutweg
s_{WZ}	Schnittlänge
$\Delta s_{M\,\text{inkr}}$	Weginkrement des Walzgutweges
$\Delta s_{S\,\text{inkr}}$	Weginkrement des Scherenweges
t	Zeit
t_Z	Gesamtzeit der Rendevoussteuerung des Scherenantriebes
T_{ZK}	Zykluszeit des Sollwertrechners und der digitalen Folgeregelung
v_H, v_W	Walzgut-Vorlaufgeschwindigkeit, $v_H = v_W K_V$
v_S	Sollwert der Scherengeschwindigkeit
v_{Sgr}	Grenzwert der Scherengeschwindigkeit
α_{GLE}	Gleichlaufwinkel am Beginn des Schnittvorganges

1. Technologische Aufgabenstellung

In kontinuierlich arbeitenden Warmwalzwerken werden bei großen Walzgutgeschwindigkeiten bis zu $20 \cdots 30$ m/s rotierende Scheren eingesetzt, um das ständig aus der Walzstraße herauslaufende Walzgut in vorgegebene Kühlbett- oder Handelslängen zu teilen. Abhängig von der Art des Walzgutes, z. B. Bändern, Stäben, Profilen usw., vom Querschnitt und von der Walzgutgeschwindigkeit sind unterschiedliche konstruktive Ausführungsformen, wie Trommel-, Kurbel-, Pendel- oder Exzenterscheren entstanden [1]. Bei allen Ausführungsformen rotierender Scheren werden die Scherenmesser mit Hilfe von zwei gegenläufig rotierenden Messerträgern auf kreisförmigen oder elliptischen Bahnen geführt, zwischen denen das Walzgut kontinuierlich hindurchläuft (s. Bild 1).
Während des Schnittvorganges, d. h. während des Messereingriffs im Walzgut, darf es keine Relativbewegung zwischen dem Walzgut und den Scherenmessern geben; es kommt sonst zu Stauchungen oder Zugkräften im Walzgut, unsauberen Schnittflächen und Beschädigungen der Scherenmesser. Außerhalb des Schnittbereichs sind die Scherenmesser so zu führen, daß sie gleichzeitig mit der gewünschten Schnittposition auf dem Walzgut und mit der Walzgutgeschwindigkeit in den Schnittbereich der Schere einlaufen. Für

Dr. sc. techn. *Ulrich Riefenstahl* ist Lektor, Dipl.-Ing. *Ralph Hansen* ist Entwicklungsingenieur an der Technischen Hochschule „Otto von Guericke" Magdeburg.

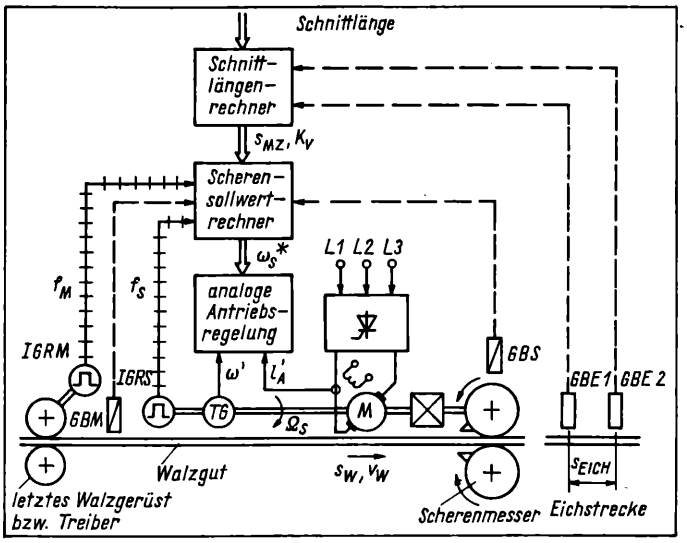


Bild 1. Prinzipieller Aufbau der Antriebs- und Automatisierungsanlage einer rotierenden Schere

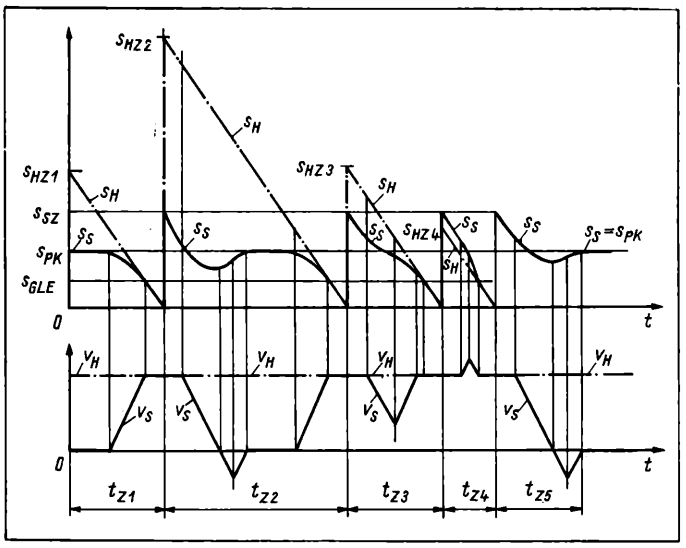


Bild 3. Verlauf der Walzgut- und Scherengrößen bei einem angenommenen Schnittprogramm, wegoptimaler Steuerung und $v_H(t) = \text{const.}$ (t_{Z1} Schopfen; t_{Z2}, t_{Z3}, t_{Z4} Schnittfolgesteuerung im Start-Stop-Betrieb, sowie im untersynchronen und übersynchronen Durchlaufbetrieb; t_{Z5} – Stillsetzen)

die Gleichlaufsteuerung des Scherenantriebs mit dem Walzgut gilt im Schnittbereich:

$$v_S(t) = v_W(t)\, K_V = v_H(t) \tag{1}$$

$$K_V = \frac{1}{\cos \alpha_{GLE}} \tag{2}$$

2. Bewegungsablauf des Scherenantriebes

Das Bild 2 zeigt die Trajektorien des Bewegungsablaufes des Scherenantriebs für zwei Walzgutvorlaufgeschwindigkeiten bei verschiedenen Schnittlängen. Im Bewegungsablauf sind das Schopfen, die Schnittfolgesteuerung und das Stillsetzen des Scherenantriebes nach dem letzten Schnitt zu unterscheiden.

Beim Einlaufen eines neuen Walzgutstranges in die Schere muß von der Spitze des Stranges eine vorgegebene Länge abgeschnitten (geschopft) werden. Das Schopfen erfordert einen Hochlauf der Scherenmesser aus einer Parkposition s_{PK} längs der Trajektorie *3* in den Schnittbereich.

Die folgenden Schnitte werden in der Schnittfolgesteuerung ausgeführt. Der Bewegungsablauf beginnt im Schnittbereich mit $v_S(0) = v_H(0)$ und endet mit $v_S(t_Z) = v_H(t_Z)$ im folgenden Schnittbereich. Zwischen den Schnittbereichen richtet sich der Bewegungsablauf des Scherenantriebes nach dem Verhältnis der zu schneidenden Walzgutlänge zum Scherenmesserweg.

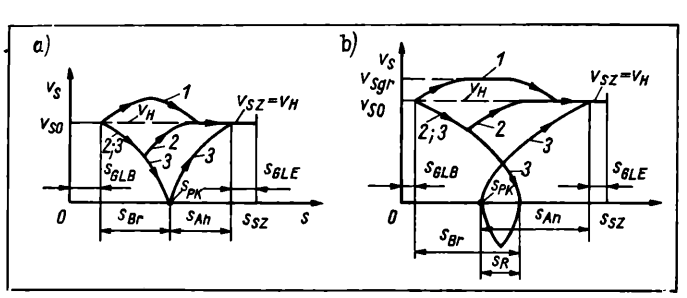
Beim Einlaufen der Scherenmesser in den Schnittbereich müssen die Gl. (3) bis (5) erfüllt sein:

$$s_{SZ} = \int_0^{t_Z} v_S(t)\, \mathrm{d}t \tag{3}$$

$$s_{HZ} = s_{WZ}\, K_V = \int_0^{t_Z} v_H(t_Z)\, \mathrm{d}t \tag{4}$$

$$v_S(t_Z) = v_H(t_Z). \tag{5}$$

Bild 2. Verlauf der Trajektorien des Scherenantriebes bei verschiedenen Schnittlängen
a) bei kleinen Walzgutvorlaufgeschwindigkeiten
b) bei großen Walzgutvorlaufgeschwindigkeiten



Abhängig von der geforderten Schnittlänge sind drei unterschiedliche Betriebsarten des Scherenantriebes möglich (s. Bild 2):

- übersynchroner Durchlaufbetrieb: $s_{HZ} < s_{SZ}$ (Trajektorie *1*)
- untersynchroner Durchlaufbetrieb: $s_{SZ} < s_{HZ} < s_{An} + s_{GLB} + s_{GLE}$ (Trajektorie *2*)
- Start-Stop-Betrieb: $s_{HZ} > s_{AW} + s_{Br} + s_{GLB} + s_{GLE}$ (Trajektorie *3*)

Bei sehr großen Vorlaufgeschwindigkeiten v_H ist nach dem Abbremsen ein Zurückfahren der Scherenmesser um s_R notwendig, um den erforderlichen Hochlaufweg bis zum Schnittbereich zu gewinnen — Schleife der Trajektorie *3* im Bild 2b. Dieser Rücklaufweg führt beim Übergang vom untersynchronen Durchlaufbetrieb zum Start-Stop-Betrieb zu einer „Lücke" im Schnittlängenstellbereich der Schere. Schnittlängen in diesem Bereich sind bei Einschaltung der Gleichlaufbedingung nach Gl. (1) nicht realisierbar. Nach dem letzten Schnitt des vorliegenden Stranges — werden die Scherenmesser wieder entlang der Trajektorie *3* bis zur Parkposition s_{PK} abgebremst.

Der Start der einzelnen Bewegungsabläufe erfolgt über den Walzgutlagegeber *GBM* und den Scherenlagegeber *GBS* (s. Bild 1). Der Bewegungsablauf des Scherenantriebes erfordert eine Rendezvoussteuerung, wobei die gewünschte Schnittposition auf dem bewegten Walzgut den anzusteuernden Zielzustand kennzeichnet. Infolge der Begrenzungen des Scherenantriebes, insbesondere infolge der Begrenzung der Drehzahl und des Ankerstromes, unterliegen seine Zustandsgrößen während der Rendezvoussteuerung Beschränkungen.

$$|s_S^{(\nu)}| = |s_{Sgr}^{\nu}| \quad \nu = 0, 1, 2 \ldots n. \tag{7}$$

Ein optimaler Bewegungsablauf der Scherenmesser kann hier mit Hilfe eines Gütekriteriums nach den Methoden der optimalen Prozeßsteuerung festgelegt werden. Von praktischem Interesse sind besonders die energieoptimale und die wegoptimale Steuerung, z.B. [2], [3]. Die energieoptimale Steuerung führt zu den kleinsten Stromwärmeverlusten im Motor. Die wegoptimale Steuerung dagegen benötigt den geringsten Anlaufweg und nutzt das Beschleunigungsvermögen des Scherenantriebes voll aus. Sie ist vorteilhaft bei größeren Walzgutvorlaufgeschwindigkeiten, da sie den kleinsten Rücklaufweg s_R und damit auch die kleinste „Lücke" im Schnittlängenstellbereich besitzt.

Mit den Randbedingungen nach den Gln. (3) bis (5), den Beschränkungen entsprechend Gl. (7) $|a_S(t)| \leqq |a_{Sgr}|$, $|v_S(t)| \leqq |v_{Sgr}|$ erhält man für die wegoptimale Rendezvoussteuerung während $0 \leqq t \leqq t_Z$:

$$s_S(t) = s_{SZ} - \int_0^t v_S(t)\, \mathrm{d}t \tag{8}$$

$$v_S(t) = v_S(0) + \int_0^t a_S(t)\, \mathrm{d}t \tag{9}$$

$$a_S(t) = \pm a_{Sgr}. \tag{10}$$

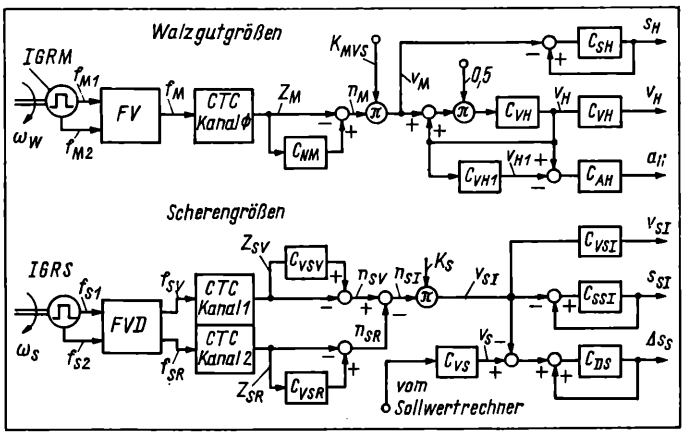


Bild 4. Prinzip der Erfassung und Aufbereitung der Walzgut- und Scherengrößen
FV Frequenzvervielfachung; *FVD* Frequenzvervielfachung und Drehrichtungsdekodierung; C_{NM}, C_{SH}, $C_{VSV}\cdots$ *RAM* – Speicherplätze, die zu jedem Abtastzyklus neu gesetzt werden

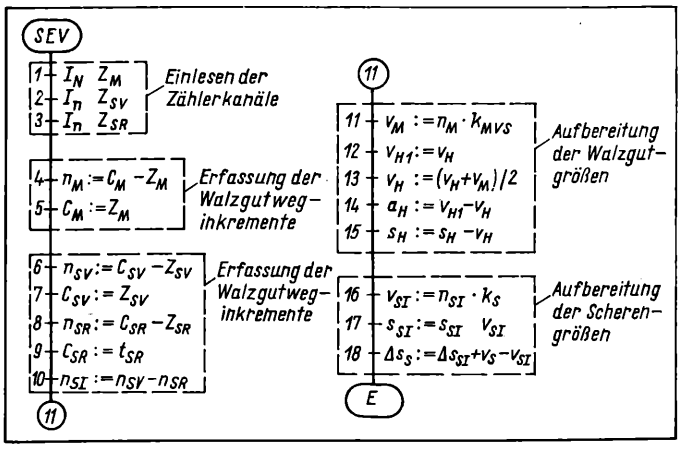


Bild 5. Programmablaufplan SEV zur Erfassung und Aufbereitung der Walzgut- und Scherengrößen

Für den Walzgutvorlaufweg gilt während der Rendezvoussteuerung:

$$s_H(t) = s_{HZ} - \int_0^t v_H(t)\,\mathrm{d}t\,. \tag{11}$$

Bild 3 zeigt die Verläufe der Scherengrößen $v_S(t)$ und $s_S(t)$ sowie der Walzgutgrößen $s_H(t)$ für ein angenommenes Schnittprogramm bei wegoptimaler Steuerung und $v_H(t) = \text{const}$. Infolge von Sollwertverstellungen an der Walzstraße und der Regelvorgänge des Schlingenhebers kann sich jedoch die Vorlaufgeschwindigkeit $v_H(t)$ ändern. Während der Rendezvoussteuerung des Scherenantriebes muß deshalb ständig der Zielzustand entsprechend den Gln. (3) bis (5) den Veränderungen von $v_H(t)$ nachgeführt werden.

3. Antriebs- und Automatisierungsanlage

3.1. Antriebsanlage

Bei hohen Walzgutgeschwindigkeiten, großem Schnittlängenstellbereich und hohen Anforderungen an die Schnittgeschwindigkeit muß ein elektrischer Antrieb mit einem hochwertigen dynamischen Verhalten eingesetzt werden. Die benötigte Antriebsleistung liegt abhängig vom Scherentyp etwa zwischen 100 kW und 800 kW. Beide Messerträger werden gemeinsam über ein Verteilergetriebe angetrieben (vgl. Bild 1). Die hohen dynamischen Anforderungen sind in diesem Leistungsbereich heute nur mit einem drehzahlgeregelten kreisstromfreien Umkehrantrieb mit adaptiver Ankerstromregelung und überlagerter digitaler Scherenwegregelung zu erfüllen.

3.2. Automatisierungsanlage

Im Bild 1 ist der Aufbau der Automatisierungsanlage der Schere dargestellt. Sie enthält ein audatec-Mehrrechnersystem bestehend aus Baugruppen des Mikrorechners K 1520 und des Prozeßautomatisierungssystems Ursatron 5000 sowie eine analoge Drehzahl- und Stromregeleinrichtung des Thyresch-Systems des VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin. Zur optimalen Rendezvoussteuerung des Scherenantriebes muß die Automatisierungsanlage unter anderem folgende Aufgaben realisieren:

- Bereitstellung des Schnittlängensollwertes
- Erfassung aller erforderlichen Walzgut- und Scherengrößen
- Berechnung des optimalen Verlaufs des Scherengeschwindigkeitssollwertes
- digitale Folgeregelung des Scherenantriebes einschließlich einer Sollwertvorsteuerung und Störgrößenkompensation.

Nachfolgend soll das Lösungsprinzip einiger Teilaufgaben näher erläutert werden.

3.2.1. Digitale Meßwerterfassung

Die Rendezvoussteuerung und die digitale Folgeregelung erfordern ständig die digitale Erfassung der Scherengeschwindigkeit, der Geschwindigkeit und Beschleunigung des Walzgutes sowie des noch bis zum Schnittbereich verbleibenden Walzgut- und Scherenweg. Für diese Aufgaben stehen je ein inkrementaler Impulsgeber am Walzgerüst (*IGRM*) und am Scherenantrieb (*IGRS*) sowie ein programmierbarer Zählerschaltkreis (*CTC*) — U857 zur Verfügung (s. Bild 4). Die weitere Verarbeitung der Meßwerte übernimmt ein Mikrorechner.

3.2.1.1. Erfassung und Berechnung der Walzgutgrößen

Das Prinzip der Erfassung und Berechnung der Walzgutgrößen a_H, v_H und s_H geht aus den Bildern 4 und 5 hervor. Die Impulsfolgefrequenz f_M des inkrementalen Impulsgebers IGRM wird nach einer Frequenzvervierfachung in FV dem als durchlaufenden 8-bit-Rückwärtszähler programmierten CTC-Kanal 0 (Zähler Z_M) zugeführt. Das Programmstück *SEV* (Bild 5), das zyklisch in mit einer Abtastperiode von $T_{ZK} = 3$ ms gestartet wird, erfaßt in den *OPn 1*; *4* und *5* (*OP*-Operation) der Impulse von f_M, die während T_{ZK} auf den Zähler Z_M eingelaufen sind. In den *OPn 10* $\cdots$ *14* des Programmstücks *SEV* werden anschließend die auf das Scherenweginkrement bezogenen Walzgutgrößen a_H, v_H und s_H ermittelt. Die *OP 10* im Programmstück *SEV* nach Bild 5 enthält eine Multiplikation mit dem Faktor K_{MVS} zur Inkrement- und Datenformatanpassung, Vorlaufeinstellung und Schlupfkompensation

$$K_{MVS} = K_V K_{Schl} \frac{\Delta s_{S\,\mathrm{inkr}}}{\Delta s_{M\,\mathrm{inkr}}}\,. \tag{12}$$

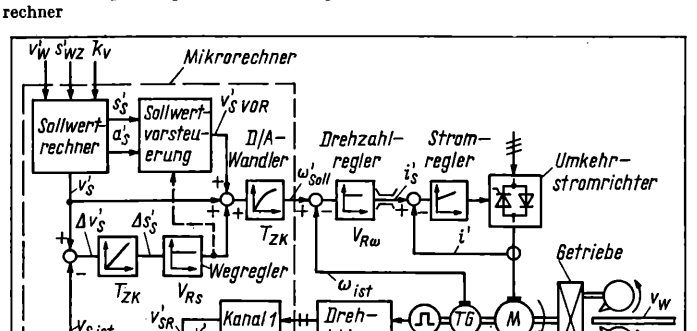
Der Schlupffaktor K_{Schl} kompensiert den Fehler in der Walzgeschwindigkeitsmessung am letzten Walzgerüst infolge des Schlupfes zwischen Walze und Walzgut sowie der Änderungen des Walzendurchmessers durch den Walzenverschleiß. Er wird nach jedem Schnitt durch den Schnittlängenrechner mit Hilfe einer Eichstrecke hinter der Schere bestimmt (vgl. Bild 1). Die *OP 13* in *SEV* führt eine Mittelwertbildung mit einer Zeitkonstante von etwa T_{ZK} aus. Der Walzgutvorlaufweg s_H wird am Beginn jeder Rendezvoussteuerung über den Scheren- bzw. Walzgutlagegeber auf den Anfangswert $s_H := s_{HZ}$ gesetzt und anschließend in *OP 15* zyklisch um v_H vermindert.

Alle Walzgutgrößen sind auf das konstante Scherenweginkrement $\Delta s_{S\,\mathrm{inkr}}$ und die Zykluszeit T_{ZK} bezogen.

3.2.1.2. Erfassung und Berechnung der Istwerte des Scherenantriebes

Die vorzeichenbehaftete Erfassung der Scherengrößen erfordert neben der Frequenzvervielfachung zusätzlich einen Drehrichtungs-

Bild 6. Prinzip der optimalen Steuerung des Scherenantriebes mit einem Sollwertrechner



dekoder *FVD* und je einen *CTC*-Zählerkanal zur Ermittlung der in einer Abtastperiode in Vorwärts- bzw. Rückwärtsdrehrichtung eingelaufenen Impulse des *IGRS* (Bild 4). Das Programm *SEV* im Bild 5 erfaßt in den *OPn 2; 3; 6 ··· 10* die Anzahl der Impulse des inkrementalen Gebers am Scherenantrieb *IGRS* während einer Abtastperiode T_{ZK} und ermittelt daraus in den *OPn 16, 17* und *18* alle benötigten Scherengrößen. Die Operation *OP 16* nimmt eine Datenformatanpassung vor. Die Operation *OP 17* berechnet den bis zum Schnittbereich verbleibenden Scherenweg s_{SI}, wobei am Beginn der Rendezvoussteuerung $s_{SI} = s_{SZ}$ gesetzt wird. Die Operation *OP 18* ermittelt mit Hilfe des Sollwertes der Scherengeschwindigkeit v_S die Scherenwegregelabweichung Δs_S für die Folgeregelung.

3.3. Optimale Steuerung des Scherenantriebes

3.3.1. Prinzipstruktur der Steuer- und Regeleinrichtung des Scherenantriebes

Die Automatisierungsanlage muß aus der aktuellen Vorlaufgeschwindigkeit $v_H(t)$, dem bis zum Schnittbereich verbleibenden Vorlaufweg $s_H(t)$ und Scherenweg $s_S(t)$ sowie den vorgegebenen Be-

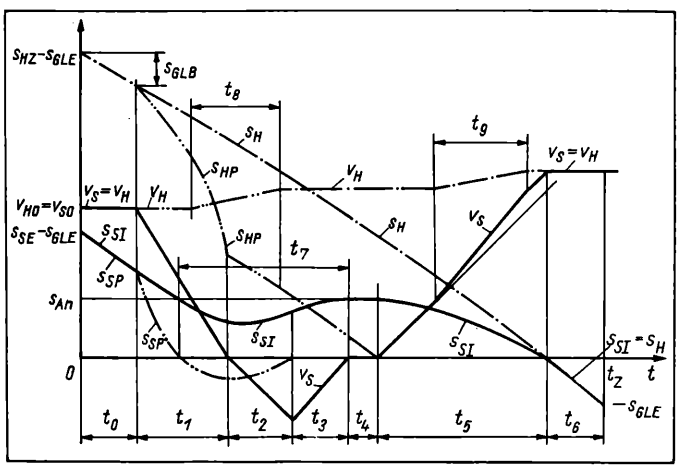


Bild 7. Verlauf der Sollwertrechnergrößen bei einer wegoptimalen Schnittfolgesteuerung im Start-Stop-Betrieb und veränderlicher Walzgutvorlaufgeschwindigkeit

schränkungen des Scherenantriebes den Sollwertverlauf der Scherengeschwindigkeit $v_S(t)$ festlegen.

In den bisher in der Literatur beschriebenen Automatisierungsanlagen für rotierende Scheren wurde die optimale Steuerung stets über einen nichtlinearen Scherenwegregler meist in analoger Technik realisiert [2] bis [4]. Problematisch sind hier jedoch der eingeschränkte Stabilitätsbereich des nichtlinearen Geschwindigkeits- und Wegregelkreises der Schere sowie die erforderliche Rechenzeit zur zyklischen Berechnung der nichtlinearen Kennlinie des Scherenwegreglers.

Bei einer wegoptimalen Steuerung mit Mikrorechnern ist deshalb eine Regelstruktur, bestehend aus einem Sollwertrechner und einer nachgeordneten linearen und parameteroptimierten Folgeregelung nach Bild 6 günstiger [5]. Die Sollwertberechnung kann hier mit Hilfe eines idealisierten mathematischen Modells der Scherenantriebe (Doppel-I-Glied) durch zyklische digitale Integration erfolgen. Die Folgeregelung enthält einen digitalen Scherenwegregelkreis mit einem P-Regler, einen unterlagerten analogen Drehzahl- und Stromregelkreis sowie eine Sollwert- und Störgrößenvorsteuerung zur Verbesserung des Führungs- und Störverhaltens.

3.3.2. Sollwertrechner

Bei einer wegoptimalen Steuerung eines Systems mit beschränkter erster und zweiter Ableitung besitzt der Bewegungsablauf wie bei der zeitoptimalen Steuerung nur Intervalle mit konstanter Beschleunigung. Der Beschleunigungssollwert ist entweder Null oder gleich einem vorgegebenen Grenzwert, der sich aus dei eingestellten Ankerstrombegrenzung und dem vorhandenen Widerstandsmoment ergibt. Der Sollwert der Scherengeschwindigkeit kann deshalb durch digitale Integration aus dem Beschleunigungssollwert berechnet werden. Änderungen der Schnittlänge und der Walzgutvorlaufgeschwindigkeit wirken sich im wesentlichen nur auf die Intervalldauer aus. In einem optimalen Bewegungsablauf sind unabhängig vom gewählten Steuergesetz drei mögliche Phasen, eine Startphase, eine Beharrungsphase und eine Zielphase, zu unterscheiden. Von dem Bewegungsablauf der Schnittfolgesteuerung

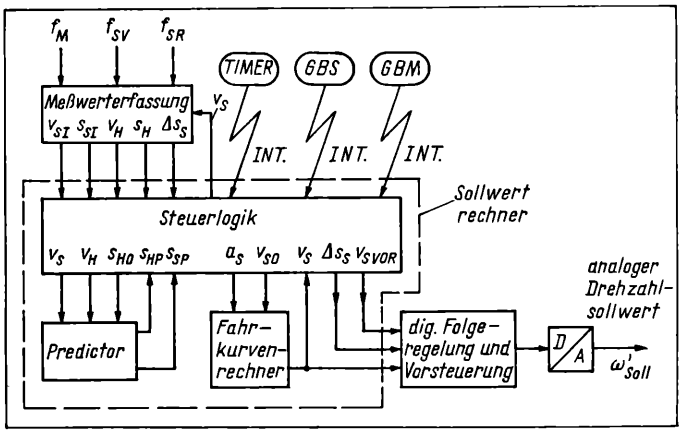


Bild 8. Programmaufbau des Sollwertrechners und sein Zusammenwirken mit der Meßwertfassung sowie der Folgeregelung mit Sollwert- und Störgrößenvorsteuerung

eines Scherenantriebes nach Bild 7 gehören die Intervalle t_1 und t_2 zur Startphase, t_3 und t_5 zur Zielphase sowie t_0, t_4 und t_6 zur Beharrungsphase. Innerhalb einer Phase bleibt das Vorzeichen der Steuergröße, d.h. hier der Scherenbeschleunigung a_S, unverändert. In der Beharrungsphase ist die Steuergröße Null. Die erste Ableitung der optimal zu steuernden Größe, d.h. hier die Scherengeschwindigkeit v_S, ist in der Beharrungsphase konstant. Da die Beschleunigungswerte des Scherenantriebes in der Start- und Zielphase bekannt sind, ist bereits während der Startphase mit Hilfe einer Vorhersageeinrichtung (Predictor) eine Vorausberechnung der Änderungen der Zustandsgrößen $s_S(t)$ und $s_H(t)$ in der Start- und Zielphase möglich [5]. Die Predictorausgangsgrößen geben ständig den erreichbaren Zielzustand des Systems an, wenn die Zielphase zum selben Zeitpunkt beginnen würde. Die Zielphase muß deshalb eingeleitet werden, wenn der vorausberechnete Zielzustand mit dem nach den Gln. (3) bis (5) geforderten Zielzustand des Systems übereinstimmt.

Der Sollwertrechner nach Bild 8 ist nach diesem Prinzip aufgebaut. Er enthält die Programmteile Steuerlogik, Fahrkurvenrechner und Predictor.

Die Steuerlogik legt abhängig vom momentanen Istzustand des Scherenantriebes, dem geforderten Zielzustand am Beginn des Schnittbereichs, den Ausgangsgrößen des Predictors und den Beschränkungen des Bewegungsablaufes den aktuellen Beschleunigungssollwert fest. Außerdem stellt sie die Scherenweg-Regelabweichung für die Folgeregelung und den Wert v_{SVOR} für die Sollwert- und Störgrößenvorsteuerung bereit.

Der Fahrkurvenrechner ermittelt durch digitale Integration aus dem Beschleunigungssollwert den Sollwert der Scherengeschwindigkeit

$$v_S := v_S + a_S \tag{13}$$

für die Folgeregelung und die Berechnung der Scherenweg-Regelabweichung Δs_S — vgl. Bild 4 und Bild 5.

Der Predictor ermittelt ständig während der Start- und Beharrungsphase durch digitale Integration den gesamten Scheren- und Walzgutweg für die gesamte Rendezvoussteuerung bis zum Einlaufen in den Schnittbereich. Während der Startphase und im Parkintervall entspricht die Predictorgröße s_{SP} zu jedem Zeitpunkt dem verbleibenden Scherenweg nach einem Hochlauf von der momentanen Scherengeschwindigkeit auf $v_S = v_H$. Die Größe s_{HP} gibt hier ständig die Differenz zwischen der geforderten Schnittlänge und der sich einstellenden Schnittlänge, wenn zum gleichen Zeitpunkt der Übergang zur Zielphase erfolgen würde (vgl. Bild 7).

Bei $s_{HP}(t) = 0$ leitet die Steuerlogik die Zielphase ein, wenn noch $s_{SP}(t) \geqq 0$ ist. Ist aber zum Zeitpunkt $s_{HP}(t) = 0$ bereits $s_{SP}(t) < 0$, so ist der vorhandene Anlaufweg der Schere zu kurz, um die Gleichlaufbedingung im Schnittbereich zu erfüllen. Die Schere muß deshalb vor dem Beginn der Zielphase erst soweit zurückgefahren werden, bis wieder $s_{SP}(t) > 0$ wird (Lücke im Schnittlängenstellbereich) — vgl. Bild 7.

Änderungen der Vorlaufgeschwindigkeit v_H während der Start- und Beharrungsphase werden vom Predictor berücksichtigt und beeinflussen nui die Intervallzeiten. Während der Zielphase ist eine Korrektur des Beschleunigungssollwertes a_S des Fahrkurvenrechners um die Vorlaufbeschleunigung $a_H(t)$ notwendig.

Das Programm des Scherensollwertrechners enthält nur arithmetische Operationen, die im Befehlssatz des Mikrorechners K 1520 als

Maschinenbefehle vorhanden sind. Die Verwendung von Standardunterprogrammen, z. B. für Summierglieder, Integratoren, Komperatoren usw., vereinfacht erheblich die Programmierung des Sollwertrechners.

3.3.3. Folgeregelung, Sollwert- und Störgrößenvorsteuerung

Zur Einhaltung der optimalen Fahrkurve wird eine lineare parameter-optimierte Folgeregelung mit Sollwert- und Störgrößenvorsteuerung eingesetzt (Bild 6). Der analoge Drehzahlregler ist als P-Regler nach dem Betragsoptimum auf 5% Überschwingen eingestellt. Die Verstärkung V_{Rs} des digitalen Wegregelkreises ist ebenfalls nach dem Betragsoptimum festgelegt. Sprünge von $v_{S\,\mathrm{soll}}$ haben dann eine Überschwingweite des Drehzahlistwertes von 47% zur Folge. Bei Änderungen des Widerstandsmoments verhält sich die Folgeregelung wie ein Drehzahlregelkreis mit PI-Regler, der nach dem Symmetrischen Optimum eingestellt wurde. Die Vorsteuerung über v_{SVOR} kompensiert die Scherenwegfehler infolge des Widerstandsmomentes und der Drehzahlsteuerung. Bei Verwendung einer adaptiven Vorsteuerung, die am Ende eines jeden Intervalles im Bewegungsablauf über den Scherenwegfehler Δs_S eine Korrektur der Vorsteuerwerte v_{SVOR} vornimmt, wird der sich einstellende Schnittfehler erheblich verringert.

4. Zusammenfassung

Für die wegoptimale Rendezvoussteuerung einer rotierenden Schere in kontinuierlichen Walzwerken eignet sich am besten eine Automatisierungsanlage bestehend aus einem Sollwertrechner, einer linearen parameteroptimierten Folgeregelung mit Sollwert- und Störgrößenvorsteuerung sowie einer digitalen Erfassung der Walzgut- und Scherengrößen. Der Sollwertrechner enthält die Programmteile-Steuerlogik, Fahrkurvenrechner und Predictor. Er erfordert nur einfache digitale Standardoperationen, die mit geringem Rechenzeitaufwand durch einen Mikrorechner realisiert werden können. Die lineare Folgeregelung besitzt ein optimales Führungs- und Störverhalten und gestattet eine Kompensation des Drehzahleinbruchs beim Schnittbeginn. Zusammen mit einer adaptiven Sollwert- und Störgrößenvorsteuerung lassen sich auch bei großen Walzgutgeschwindigkeiten und einem weiten Schnittlängenstellbereich geringe Schnittfehler erreichen. Über den Programmaufbau des Sollwertrechners für Rendezvoussteuerungen und über die Optimierung der Folgeregelung wird an anderer Stelle berichtet.

Literatur

[1] *Guericke, W.:* Möglichkeiten der Einstellung der Schnittlängen bei fliegenden Scheren im Durchlaufbetrieb. Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Hochschule „Otto von Guericke", Magdeburg 25 (1981) 3, S. 113 – 119

[2] *Leonhard, W.:* Zeitoptimale Scherenregelung. Archiv für Elektrotechnik 58 (1976) 1, S. 61 – 67

[3] *Bender, K.; Pandit, M.; Weber, W.:* Verlustoptimale Regelung von rotierenden Scheren. Regelungstechnik und Prozeßdatenverarbeitung 18 (1970) 2, S. 540 bis 545; 8, S. 8 – 14

[4] *Teßmer, R.:* Uhtersuchungen an weggeregelten Antriebssystemen für rotierende Walzwerksscheren. Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Hochschule „Otto von Guericke", Magdeburg 13 (1969) 7, S. 643 – 647

[5] *Riefenstahl, U.:* Optimale Fahrkurvensteuerung elektrischer Antriebe mit Mikrorechner. Diss. B, TH „Otto von Guericke" Magdeburg 1982

EA 5337

KDT-KATALOG

Elektronische Schaltungen

Ausgabe Januar 1984, etwa 200 Blatt, Lose-Blattsammlung mit Ringbuch-Plastmappe, A 5, Preis: 70,– Mark

Der bereits bekannte Anwendungskatalog liegt jetzt in der 3. erweiterten Auflage vor. Die anwendungserprobten Beispiele sind gegliedert: Netzteile, Verstärker, Oszillatoren, Generatoren, Filterschaltungen, Rundfunk- und Fernsehschaltungen, Steuer- und Regelschaltungen, Verzögerungsschaltungen, Foto-, Speicher-, Meßschaltungen, Multivibratoren, Digital- und Spezialschaltungen.

Ferner werden die Mikrorechnersysteme K 1510 und K 1520 vorgestellt.

Wir liefern direkt und kurzfristig

KDT-Bezirksverband Suhl
Bereich Wissenschaft und Technik
6000 Suhl; Thälmannplatz 4

Neue Möglichkeiten für die Kühlung hochbelasteter Induktoren für die Induktionserwärmung

E. Kolbe, KDT; H. Seeber, KDT; Ilmenau

Im Jahre 1921 wurde erstmals ein von *Northrup* [1] entwickelter und patentierter Induktionstiegelofen mit wassergekühlter Ofenspule zum Schmelzen von kohlenstoffarmen Metallen hergestellt und erfolgreich in der Industrie eingesetzt.

Das Kühlprinzip der Induktionsspule dieses Ofens hat sich im wesentlichen bis heute erhalten und findet auch in vielen Induktionserwärmungsanlagen, z. B. zur Werkstückerwärmung für die nachfolgende Warmformgebung, Anwendung. Es wurde inzwischen durch zahlreiche theoretische und experimentelle Untersuchungen bis an die Grenzen seiner Leistungsfähigkeit weiterentwickelt.

Die Hohlprofil-Wasserkühlung zur Abführung der Verlustwärme aus Induktionsspule und Einsatz wird durch ihre zulässigen Temperaturparameter begrenzt. Damit sind auch der Induktorbelastbarkeit und übertragbaren Leistung auf den Einsatz Grenzen gesetzt. In manchen Fällen, z. B. bei Schnellerwärmungsprozessen, ist aber eine Erhöhung der auf das Werkstück übertragbaren Leistung durchaus erwünscht und bei einer entsprechenden Intensivierung der Verlustwärmeabführung auch möglich.

Bei einer optimal ausgelegten rotationssymmetrischen Induktor-Einsatz-Anordnung kann bei Anwendung z. B. einer Rechteck-Hohlprofil-Wasserkühlung mit einem hydraulischen Durchmesser von 12 mm eine spezifische Verlustwärme p_{vi} von etwa 75 W/cm², bezogen auf die Innenfläche des Hohlprofils des Induktors, abgeführt werden. Dieser Wert wird aber in der Praxis nur bei Induktionsspulen mit wenigen Windungen erreicht. Der erforderliche hohe Druck im Kühlkreislauf setzt der Kühlwasserströmungsgeschwindigkeit wirtschaftliche Grenzen und bestimmt damit auch die abführbare Verlustwärme. Kann durch Veränderung von Kühlung und Induktoraufbau eine höhere spezifische Verlustleistung p_{vi} aus der Induktorspule abgeführt werden, so wird prinzipiell ein Betrieb des Induktors mit einer höheren Stromdichte möglich. Aus der 1. und 2. Maxwellschen Gleichung ist erkennbar, daß eine Erhöhung der Induktorstromdichte unmittelbar zu einer größeren Leistungsdichte p_{20} an der Einsatzoberfläche führt und sich damit der Leistungseintrag in das Werkstück vergrößert. Unter Annahme eines konstanten Induktorstromes I_1 kann bei einer Erhöhung der spezifischen Kühlleistung eine größere spezifische Verlustleistung p_{vi} aus der Induktionsspule abgeführt werden, die eine Erhöhung der Stromdichte im Leiterprofil der Induktionsspule z. B. durch die Verringerung der Leiterprofilbreite b_1 zuläßt. Durch die Reduzierung des Produktes Windungszahl mal Leiterprofilbreite b_1 verkleinert sich die zu kühlende Fläche. Die dadurch entstehende Verkürzung der Gesamtlänge der Induktionsspule führt über ein verändertes Verhältnis von Induktor zu Einsatzwiderstand zu einer geringeren Windungszahl. Die Erwärmungszeit des Einsatzes kann dadurch verkürzt und der spezifische Energiebedarf verringert werden. Die Behandlung der aufgezeigten Problematik erfordert neben einer optimalen Auslegung des Induktors auch die Intensivierung der Kühlung. Es wurden deshalb die Anwendbarkeit neuer Kühlsysteme und ihre Grenzen untersucht, die der Hohlprofil-Wasserkühlung überlegen sind.

Zur Zeit bieten sich für solche Kühlsysteme drei Entwicklungsrichtungen an.

- Verdampfungskühlung nach dem Prinzip des Wärmerohres
- Kühlung nach dem Prinzip des 2-Phasen-Thermosiphons
- Luftkühlung nach dem Prinzip der adiabaten Zustandsänderung.

Mehrere Möglichkeiten zur Realisierung solcher Kühlsysteme wurden als Patente angemeldet [2] [3] [4] [5]. Die **Verdampfungskühl-**

Prof. Dr.-Ing. *Erich Kolbe* ist Leiter des Wissenschaftsbereiches Elektrowärme, Dipl.-Ing. *Horst Seeber* ist Aspirant im Wissenschaftsbereich Elektrowärme der TH Ilmenau.

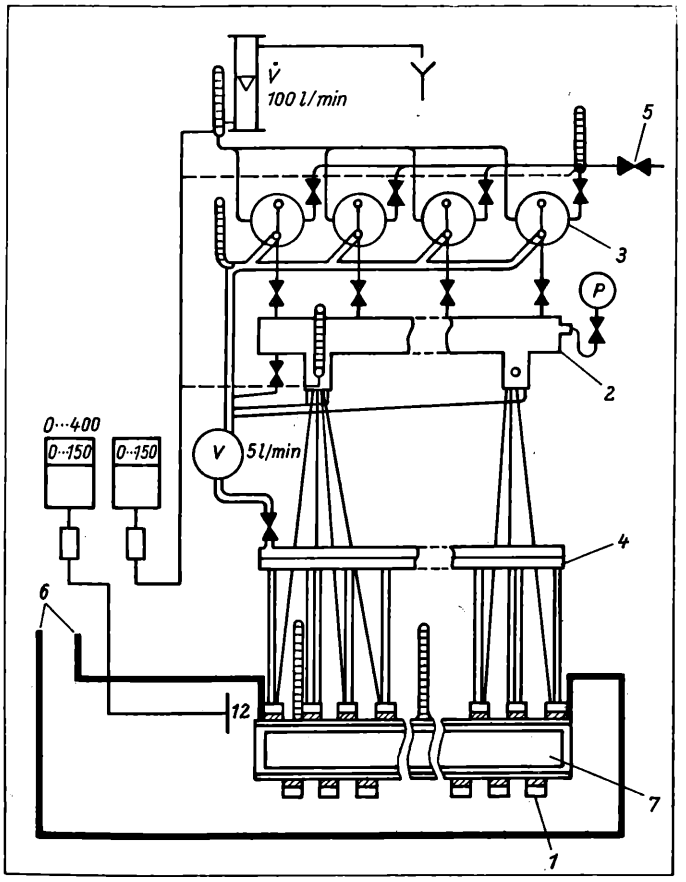
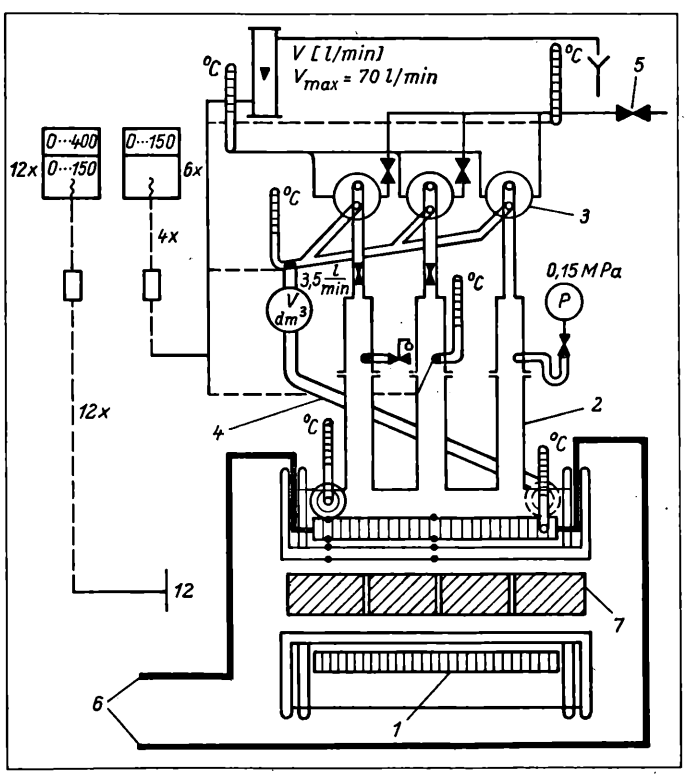


Bild 1. Verdampfungskühlung eines Induktors nach dem Wärmerohrprinzip
1 Induktionsspule, *2* Dampfverteiler, *3* Wärmeaustauscher, *4* Kondensatverteiler, *5* Kühlwasserzuführung, *6* Stromzuführung, *7* Einsatz

Bild 4. *h-x*-Diagramm nach *Mollier*
Prinzipieller Verlauf der adiabaten Zustandsänderung der Kühlluft durch axiale Wasserzugabe mit Sprühdüsen zur Verlustwärme-Abführung aus der Oberfläche von Hochleistungsinduktionsspulen

T_{1R}	Raumluftzustand (T, x, h)
T_1' bis T_7	axialer Kühlluftzustand vor der jeweiligen Öffnung der Wassersprühdüse
T_2 bis T_8	axialer Kühlluftzustand nach der Wasseraufnahme
T_{1A}	Frischluftzustand
M	Mischpunkt der Kühlluft mit der Frischluft im Verhältnis 10:1
$\dot{m}_{L8}$	Kühlluftmenge; $\dot{m}_{L1}$ Frischluftmenge; x Feuchte (g/m³)

Bild 2. Kühlung der Induktorspule nach dem 2-Phasen-Thermosiphon-Prinzip
1 Induktionsspule, *2* Dampfableitung, *3* Wärmeaustauscher, *4* Kondensatrückleitung, *5* Kühlwasserzuführung, *6* Stromzuführung, *7* Einsatz



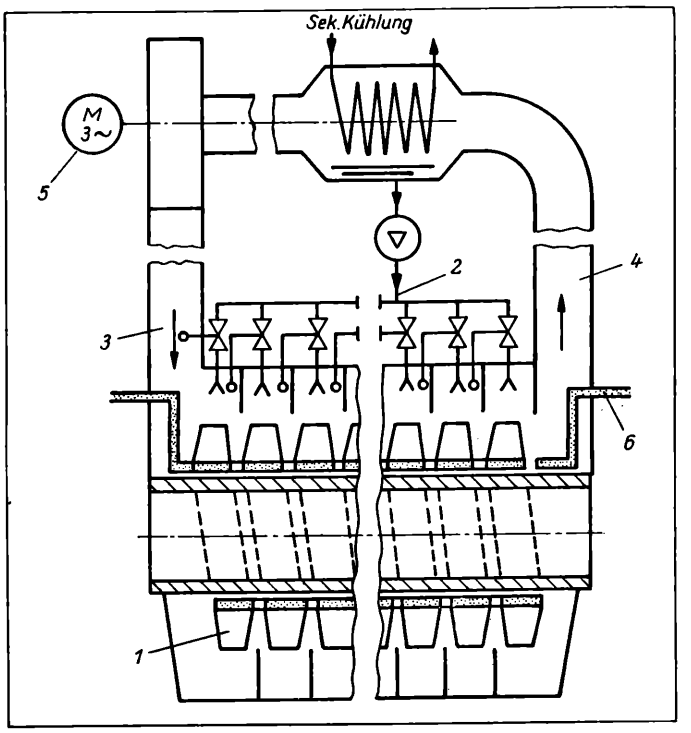
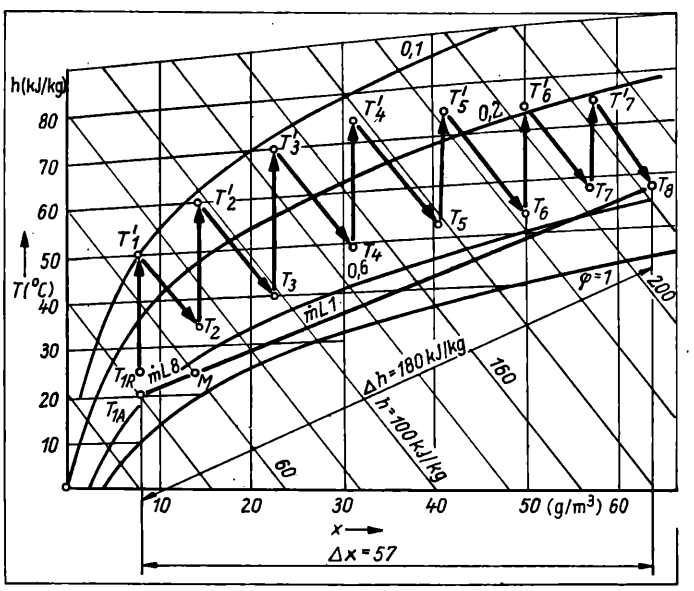


Bild 3. Induktionsspule mit Luftkühlung nach dem Prinzip der adiabaten Zustandsänderungen
1 Induktionsspule, *2* Kühlflüssigkeitszuführung, *3* Luftzuführung, *4* Luftabführung, *5* Kühlmittelpumpe, *6* Stromzuführung



lung nach dem Prinzip des Wärmerohres erfolgt in einem hermetisch geschlossenen System, in das z.B. die aus Flachprofil-Wickelleiter bestehende Induktionsspule als Verdampfungsteil integriert ist. Das Flachprofil ist außen, auf der dem Einsatz abgekehrten Seite mit einem Docht belegt, der die Wärmeträger-Flüssigkeit über den Umfang der Windungen verteilt. Den prinzipiellen Aufbau eines solchen Systems zeigt Bild 1.

Der Siedepunkt kann mittels eines Unter- oder Überdruckes entsprechend dem gewählten Wärmeträgermedium eingestellt werden. Die erforderliche Verdampfungswärme wird der Oberfläche der Induktionsspule entzogen. Der Dampf strömt aufgrund des Druckgefälles dem Kondensationsteil über Verbindungsleitungen zu und kondensiert. Die Kondensationswärme wird über einen Sekundär-Kühlkreislauf aus dem Kondensator abgeführt und entsprechend den gewünschten Temperaturparametern den Wärmeverbrauchern zugeführt. Das Kondensat wird im natürlichen Gefälle den Windungen der Induktionsspule wieder zugeführt. Die Menge der Wärmeträgerflüssigkeit wird so bemessen, daß ein Austrocknen des Dochtes nicht eintreten kann.

Die **Kühlung nach dem Prinzip des 2-Phasen-Thermosiphons** beruht auf der Ausnutzung der Wärmeenthalpie h' des Wärmeträgerme-

diums in der flüssigen Phase sowie der Verdampfungswärme r: Es gilt also $h'' = h' + r$.
In diesem Fall taucht die Induktionsspule vollständig in die Wärmeträgerflüssigkeit ein. Die Induktionsspule wird in ein Verdampfergehäuse eingeschlossen, das z.B. als Hohlzylinder ausgebildet ist (Bild 2).
Die Spule selbst besteht nicht mehr aus Kupferhohlprofil, sondern aus Aluminium- oder Kupfer-Flachprofil oder Rippenprofil. Der Wärmeübergang vom Spulenmaterial auf die Wärmeträgerflüssigkeit erfolgt in der ersten Phase bis zum Siedepunkt. In der zweiten Phase wird der Induktionsspule die erforderliche Verdampfungswärme entzogen. Vom Dampfsammelraum über dem Flüssigkeitsspiegel des Arbeitsmediums führen Verbindungsleitungen zu den Kondensations-Wärmeaustauschern. Die Gesamtwärme-Enthalpie h'' wird über einen Sekundär-Kühlkreislauf externen Wärmeverbrauchern zugeführt. Das Kondensat fließt im natürlichen Gefälle dem Verdampfergehäuse zu. Der Arbeitspunkt kann durch entsprechende Druckeinstellung gewählt werden.
Die **Luftkühlung nach dem Prinzip der adiabaten Zustandsänderung** beruht auf dem polytropen Verlauf durch Änderung des Enthalpie- und Feuchtigkeitsgehaltes der Kühlluft. Durch den Wärmeaustausch zwischen der Oberfläche der Verlustwärme abgebenden Induktionsspule und der Kühlluft wird deren Enthalpie und Temperatur erhöht und die relative Feuchte in der Kühlluft gesenkt. Die so erhöhte Enthalpie der Kühlluft wird zur Verdunstung von Wasser genutzt, das über Sprühdüsen im Gegenstrom von der Kühlluft unter Temperaturabsenkung bei gleichzeitiger Erhöhung der relativen Feuchte aufgenommen wird.
Dieser polytrope Verlauf, bei isobarem Zustand, muß in axialer Richtung partiell unter nichtlinearer Zunahme der Enthalpie betrachtet werden. Im Bild 4 wird der prinzipielle Verlauf im h-x-Diagramm dargestellt.
Die Induktionsspule wird aus geripptem Aluminiumprofil aufgebaut; sie wurde auf einen thermisch stabilen und elektrisch isolierenden Hohlzylinder zur Aufnahme des Einsatzes gewickelt. Der Wärmeaustauscherraum wird radial mit einer elektrisch und thermisch isolierenden Verkleidung umgeben, in die Luftleiteinrichtungen mit Sprühdüsen eingebaut sind, die temperaturabhängig gesteuert werden.
Durch ein Radialgebläse wird die Kühlluft dem Austauscherraum zugeführt. Aus der Abluftmenge kann über einen Rekuperator die gespeicherte Wärme entzogen und einer Abwärmeverbraucheranlage zugeführt werden. Bild 3 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer solchen Anlage.
Eine wirtschaftliche Lösung ist z.B. die Mischung der Abluftmenge mit Frischluft zur Verbesserung des Raumklimas in Produktions- und Büroräumen (Erhöhung der relativen Luftfeuchte).
Die aufgeführten neuen Kühlmethoden können die Grundlage zur Entwicklung technologisch und energetisch verbesserter Induktor-Einsatz-Anordnungen mit höher belastbaren Induktionsspulen bilden. Sie stellen Möglichkeiten dar, die Erwärmungszeiten zu verkürzen und den hohen Kühlwasserverbrauch offener Kühlwasser-Kreisläufe zu reduzieren.

Literatur

[1] *Northrup, E. P.:* Induktionsschmelzofen für Elektrolyteisen. Trans. Am. Electrochem. Soc. 39 (1921), S. 344
[2] *Seeber, H.:* Kühlbare Induktionsspule nach dem Prinzip des Wärmerohres. DD WP 231 698/6 vom 7. 7. 1981
[3] *Seeber, H.; Kolbe, E.:* Kühlung von Induktionsspulen nach dem Prinzip des Thermosyphons. DD WP 231 697/8 vom 7. 7. 1981
[4] *Seeber, H.; Kolbe, E.:* Kühlbare Induktionsspule zur induktiven Guterwärmung. DD WP 231 696/1 vom 7. 7. 1981
[5] *Kobayashi, Y.; Kawakamt, N.:* Kühlvorrichtung mit Verdampfern. DE-OS 2319274 vom 16. April 1973 EA 5272

Не забудте заблаговременно продлить подписку на журнал ELEKTRIE на 1985 год, чтобы исключить перебои в получении всех номеров журнала в течение всего года. Мы рады, что вы и дальже будете регулярными читателями нажей публикации.

Eigenschwingungsuntersuchungen an Ständern großer Turbogeneratoren

W.-D. Krüger, KDT, Berlin; W. Krause, KDT, Zittau; W. Landerer, KDT, Berlin

Der Schwingungszustand und die Festigkeit der Konstruktionselemente des Ständers beeinflussen die Betriebssicherheit großer Turbogeneratoren in bedeutendem Maße. Wegen der Kompliziertheit der Konstruktion und der weiteren Verringerung der Biegesteifigkeit einer Reihe wichtiger Ständerelemente ist die Aufgabe zu lösen, sowohl treffsichere Berechnungsmethoden als auch meßtechnische Verfahren zur wirklichkeitsgetreuen Darstellung der Ständerschwingungen von Turbogeneratoren zu entwickeln.
Einige Ergebnisse, die bei der Lösung dieser komplexen Forschungsaufgabe in einer engen Zusammenarbeit zwischen dem VEB Bergmann-Borsig/Görlitzer Maschinenbau und der IHS Zittau bisher erzielt wurden, werden im folgenden kurz dargestellt.
Der Ständer eines Turbogenerators wird durch ein gekoppeltes System von Kreisringscheiben angenähert, wobei die reale Geometrie der Versteifungen, die vorhandenen elastischen Verbindungen und Abstützungen sowie die verschiedenen Arten von Zusatzmassen Berücksichtigung finden (Bild 1). Die Bewegungsgleichungen des Kreisringscheibensystems erhält man auf der Grundlage von Gleichgewichtsbetrachtungen an einem Scheibenelement unter Berücksichtigung des d'Alembertschen Prinzips.
Als eine effektive Möglichkeit, dieses gekoppelte Differentialgleichungssystem zu lösen, erweist sich die Verwendung von speziellen Ansätzen, die Besselfunktionen 1. und 2. Art verschiedener Ordnung enthalten [1].
Schwierigkeiten treten bei einer den realen Verhältnissen entsprechenden Bestimmung der Federkonstanten für die Randbedingungen auf, da sich Koppel- und Lagersteifigkeiten selbst mit hohem Aufwand nur näherungsweise bestimmen lassen [2]. Im Bild 2 sind beispielsweise Berechnungsverfahren und -ergebnisse für eine Variante der Blechpaketbefestigung angedeutet.
Trotz der Schwierigkeiten gelingt es aber, die Abhängigkeiten der Schwingungen von den Geometrie- und Werkstoffeigenschaften zu ermitteln und vor allem vergleichende Gegenüberstellungen verschiedener Konstruktionsvarianten erfolgreich durchzuführen. Im Bild 3 ist der Einfluß der Koppelsteifigkeiten auf die Ständereigenfrequenzen für den Fall der Dehnschwingungen grafisch dargestellt.
Die gewonnenen Erkenntnisse sind im Programm KOSCH verarbeitet [3]. Es dient als Arbeitsprogramm, nachdem die Richtigkeit der Berechnungsergebnisse nachgewiesen werden konnte. In diesem Zusammenhang wurden sowohl eine Reihe von Modelluntersuchungen als auch Messungen an Großausführungen durchgeführt. Die Schwingungen eines Modellgehäuses wurden auf der Grundlage der Scheibentheorie (KOSCH) und der Schalentheorie mit Hilfe des Programmsystems ROSCHA [4] berechnet. Der Vergleich zwischen den Ergebnissen, die mit dem Schalen- und dem Scheibenmodell erzielt wurden, und den experimentellen Meßwerten, die aus der Literatur [5] bekannt sind, lieferte eine zufriedenstellende Übereinstimmung.
Im Bild 4 sind ausgewählte Ergebnisse dargestellt. Die Schwingform wird durch die Parameter n (Anzahl der Knotendurchmesser) und r (Anzahl der Knoten in axialer Richtung) beschrieben. Die Schwingform $n = 2$, $r = 0$ stimmt bei zweipoligen Turbogeneratoren mit der Form der Anregung überein. Außerdem weist sie im Spektrum der möglichen Eigenfrequenzen den kleinsten Wert auf. In der Regel gilt es, gerade in bezug auf diese Schwingform den resonanzfreien Betrieb des Turbogenerators nachzuweisen.
Für die Berechnung der Eigenfrequenzen von Blechpaketen der Turbogeneratoren mittlerer und großer Leistung wurde die Scheibentheorie weitestgehend ingenieurmäßig aufbereitet (Bild 5) [6].

Dr.-Ing. *Wolf-Dietrich Krüger* ist Gruppenleiter F/E im VEB Bergmann-Borsig/Görlitzer Maschinenbau, Werk Berlin; Dr.-Ing. *Werner Krause* ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Ingenieurhochschule Zittau, Sektion Kraftwerksanlagen und Energieumwandlung; Dipl.-Ing. *Wolfram Landerer* ist Mitarbeiter F/E im VEB BB/GMB, Werk Berlin.

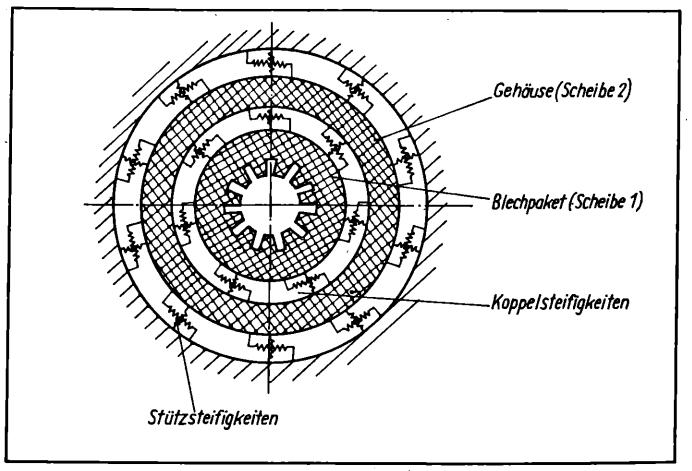


Bild 1. Berechnungsmodell für Ständer mittlerer und großer Turbogeneratoren

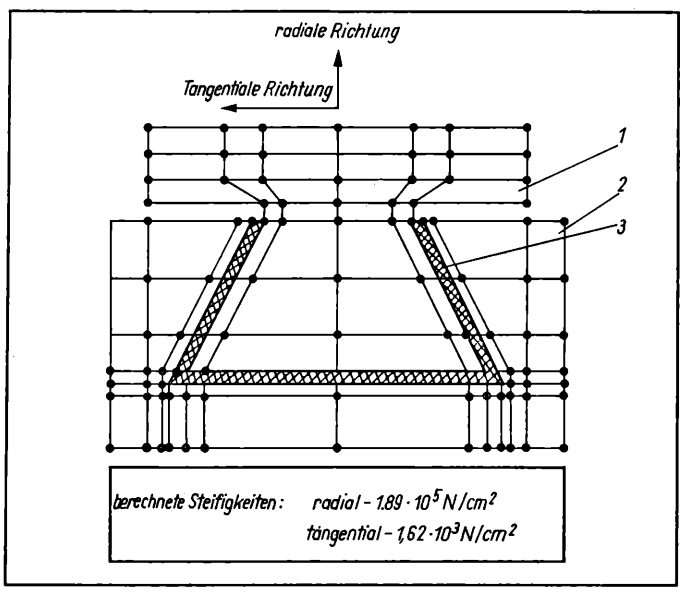


Bild 2. Finite-Elemente-Aufteilung und Berechnungsergebnisse für eine Variante der Blechpaketaufhängung eines 100 MW-Generators
1 Schwalbenschwanzbalken; *2* Blechpaketausschnitt; *3* Plasteüberzug in der Nut

Unterschiedliches Materialverhalten in radialer und tangentialer Richtung können ebenso wie der Einfluß der Zähne und Wicklungsanteile am Innenrand der Blechpakete berücksichtigt werden.
An verschiedenen Gehäusen von Turbogeneratoren aus der Produktion des VEB Bergmann-Borsig/Görlitzer Maschinenbau, Werk Berlin, wurden die Resonanzen mit Hilfe eines Schwingungserregers bis zu einem Frequenzspektrum von 0 bis 220 Hz ermittelt und der Schwingformanalyse zugrunde gelegt. Im dargestellten Amplituden-Frequenz-Gang (Bild 6) heben sich deutliche Resonanzspitzen bei $f_1 = 84$ Hz und $f_2 = 179$ Hz ab. Mit den Ergebnissen der Schwingformmessungen in Resonanznähe (Bild 7) konnten die zugehörigen Formen eindeutig als Vier- und Sechsknotenschwingung des Ständergehäuses identifiziert werden. Die Gegenüberstellung von berechneten und experimentellen Ergebnissen für das Gehäuse des Generators H 80 ergab Unterschiede in den Eigenfrequenzen, die kleiner als 3 % sind.
Wird weiterhin die auch praktisch nachgewiesene gleichphasige Schwingungserregung in axialer Richtung entsprechend bewertet, so erscheint die Orientierung auf eine Modellierung des Ständers durch ein gekoppeltes Scheibenmodell als ein zum gegenwärtigen Zeitpunkt und besonders aus der Sicht der Praxis möglicher Kompromiß, Berechnungsaufwand und nutzbare Ergebnisse in ein ausgewogenes Verhältnis zu bringen.
Insgesamt wird eingeschätzt, daß ausreichende Voraussetzungen auf dem Gebiet theoretischer und experimenteller Vorleistungen bestehen, um schon im Projektstadium gefährliche Resonanzen von Ständern mittlerer und großer Turbogeneratoren zu vermeiden. Konstruktionsvarianten, besonders für die zwischen Blechpaket und Gehäuse vorhandenen Koppelelemente, können untereinander hinsichtlich ihres Einflusses auf das Schwingungsverhalten erfolg-

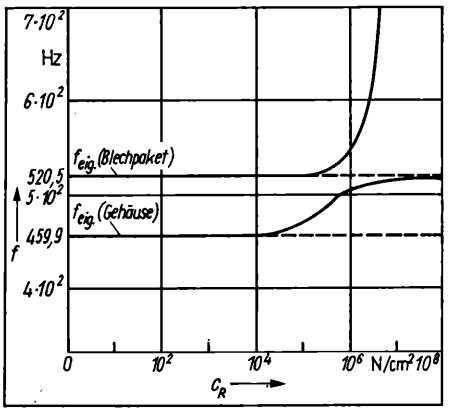


Bild 3. Einfluß der Koppelfedersteifigkeit C_R auf die Grund- und 1. Obereigenfrequenz des Ständers eines 40 MVA Turbogenerators bei Dehnschwingungen ($n = 0$)

Schwingform		gemessene Eigenfrequ. (Hz) / L5 /	berechn. Eigenfrequenzen (Hz)	
			Scheiben-theorie KOSCH	Schalentheorie ROSCHA
n	r			Ringe
0	0	1910	1844	1762
0	1	—	—	1800
0	2	—	—	1837
2	0	474	470	473,5
2	1	—	—	488,7
2	2	1027	—	1064
3	0	1157	1214	1332
3	1	—	—	1421
3	2	1392	—	1518

Bild 4. Eigenfrequenzen und -formen eines Ständergehäusemodelles

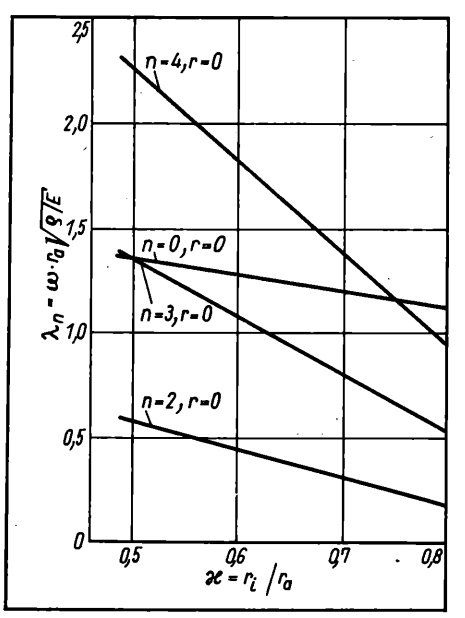


Bild 5. Dimensionslose Eigenfrequenzen bei Blechpaketschwingungen
r_a Außenradius
r_i Innenradius
ϱ Dichte
E Elastizitätsmodul

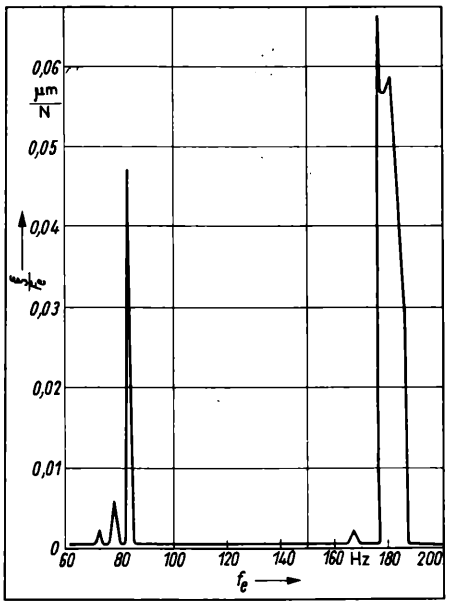
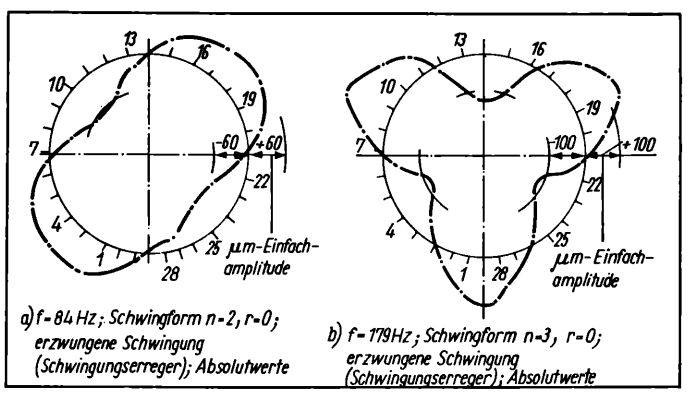


Bild 6. Frequenzgang der Radialamplituden bei erzwungener umlaufender Punkterregung am Generatorgehäuse H 80
F_e Erregerkraft
f_e Frequenz der Erregerkraft

Bild 7. Gemessene Eigenformen eines Ständergehäuses



reich verglichen werden. Weiterführende Untersuchungen in bezug auf das Zwangsschwingungsverhalten von Turbogeneratorständern müssen dann zukünftig das Bild vom dynamischen Verhalten vertiefen und abrunden.

Literatur

[1] *Krüger, W.-D.; Krause, W.:* Berechnung der Eigenfrequenzen von Ständern großer Turbogeneratoren. Maschinenbautechnik, Berlin 30, (1981) 12, S. 564 – 568

[2] *Krause, W.:* Ermittlung der Steifigkeiten bzw. Nachgiebigkeiten an den Blechpaketaufhängungen großer Turbogeneratoren. Maschinenbautechnik, Berlin 29 (1980) 10, S. 464 – 466

[3] Programmdokumentation KOSCH. VEB BB/GMB, Werk Berlin (unveröffentlicht)

[4] *Hellmann, V.:* Das Programm „Rotationsschale" – ein neuer Teilkomplex in der AUTRA-Version 20 S/ES. IfL-Mitt. 18 (1979), 2 S. 83 – 84

[5] *Berger, H.:* Das Schwingungsverhalten der Ständer von Großturbogeneratoren. Dissertation, TH Hannover 1971

[6] *Krüger, W.-D.:* Berechnung der Eigenfrequenzen von Blechpaketen großer Turbogeneratoren. ELEKTRIE, Berlin 33 (1979) 1, S. 16 – 17

EA 5279

Please renew your subscription to journal

ELEKTRIE

in time, in order
to provide again the delivery of all issues
of the 1985 volume.
We are glad, that you will belong to the
readers of our periodical
in future, too.

Relaisgaskorrektur zur Bestimmung der Fehlerart im Transformator

E. Bräsel; Th. Pyl, KDT; Greifswald

Verwendete Formelzeichen

k_i	Bunsenscher Absorptionskoeffizient (Löslichkeitskoeffizient)
n	Trennstufenzahl
p_i	Partialdruck in der Blase; p_i^0 Anfangspartialdruck
p_0	Atmosphärendruck
p_i'	Gassättigungsgrad $= 10^{-6}\ V_i/k_i p_0$
T	Temperatur [K], $T_0 = 273{,}15$
V_i	Gaskomponentengehalt im Öl
$V_{öl}$	Volumen des Öles
V_G	Blasenvolumen; V_G^0 Anfangsblasenvolumen
α	$= T_0/T$
α_0	$= T_0/p_0 T$; $\alpha_0' = 10^6\ \alpha_0$
ϑ	Temperatur [°C]

Bei Störungen an Transformatoren mit Gasansammlung im Buchholz-Relais wird die Analyse und Beurteilung des freien und des im Öl gelösten Gases mit dem Ziel durchgeführt, Maßnahmen zur weiteren Betriebsführung bzw. Inspektionshinweise für den demontierten Transformator zu erarbeiten. Die vorzugsweise Anwendung kommt den Buchholzwarnungen zu. Bei Buchholzauslösungen können zusätzliche Hinweise zur Ursachenermittlung erhalten werden.

An der Fehlerstelle entstehende und im Kesselöl aufsteigende Zersetzungsgasblasen erreichen nur dann das Buchholz-Relais, wenn sie oberhalb des Aktivteils noch eine entsprechende Mindestgröße aufweisen [1]. Analysen des Relaisgases bestätigen einen zweiseitigen Gasaustausch mit dem lufthaltigen Kesselöl durch folgende Feststellungen:

- Der Gehalt der aus dem Öl desorbierten Luftkomponenten ist beträchtlich
- Der Anteil wenig öllöslicher Zersetzungsgaskomponenten dominiert gegenüber gut öllöslichen, was nicht den Reaktionsausbeuten bezüglich der Fehlerarten entspricht.

Bei Störungsaufklärungen wird die Bedeutung des Relaisgases häufig angezweifelt, denn die Relaisgaszusammensetzung entspricht nicht mehr der originalen Zersetzungsgaszusammensetzung an der Fehlerstelle.

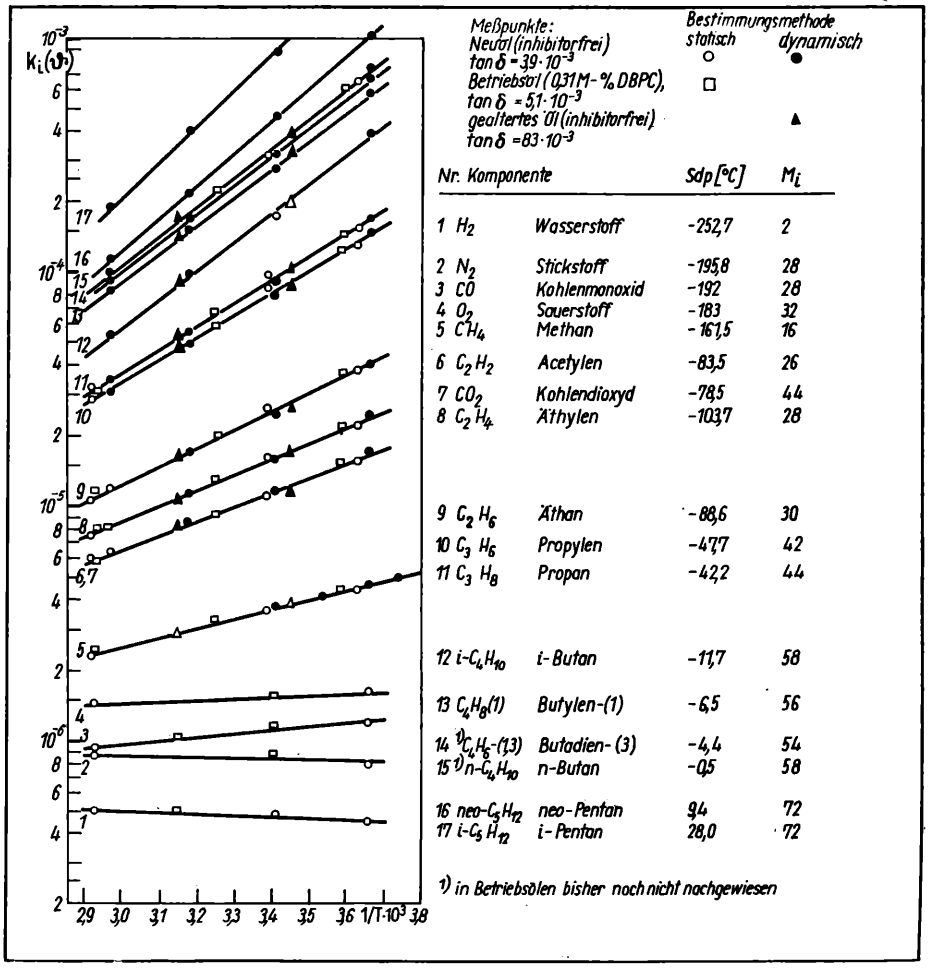
Die Richtung des Gasaustausches ist immer die Gleichgewichtseinstellung, was durch das bekannte Gleichgewichts-Kriterium diagnosewirksam ausgenutzt wird [2]. Das Relaisgas gibt durch den Vergleich seiner Zusammensetzung mit der des im Öl gelösten Gases wichtige Hinweise sowohl zum Fehlerverdacht als auch zur zeitlichen Entwicklung der Störung. Einen Versuch, aus der Relaisgaszusammensetzung, ähnlich den gelösten Gasen, die Fehlerart zu ermitteln, haben *Dörnenburg* u. a. [3] [4] unternommen. Die von den Autoren zugrunde gelegten Annahmen sind für spontane Fehler und weniglösliche Gaskomponenten nicht zulässig. Eine nur einmalig angenommene Gleichgewichtseinstellung zwischen Gasblase und Öl ist praktisch unreal.

1. Modellmäßige Beschreibung des Gasaustausches

Im Gegensatz zu den von *Dörnenburg* und *Gerber* [5] durchgeführten modellmäßigen Betrachtungen zum Gasaustausch muß berücksichtigt werden, daß sich neben der Blasengröße auch deren vielkomponentige Zusammensetzung deutlich ändert. Außerdem treten Ab-

Dr. rer. nat. *Eckard Bräsel* ist Mitarbeiter im Bereich Kraftwerkschemie des VE Kombinat Kernkraftwerke „Bruno Leuschner", Greifswald. Dr. rer. nat . habil. *Theodor Pyl* ist Dozent an der Sektion Chemie der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald.

Bild 1. Temperaturabhängige Darstellung der experimentell bestimmten Löslichkeitskoeffizienten als lg k_i (ϑ)/T^{-1}-Verlauf



und Desorption gleichzeitig auf. Die einzige praktikable Lösungsvariante forderte, dieses Problem mit der schubweisen Verteilung zu beschreiben.

Um eine experimentelle Prüfung bzw. eine betriebliche Anwendung zu ermöglichen, waren zuverlässige Löslichkeitskoeffizienten erforderlich. Die ausgewerteten Literaturangaben zeigten starke Streuungen und widersprüchliche Temperaturabhängigkeiten.

Bild 1 zeigt die im national dominierenden Transformatorenöl TRF-G bestimmten Bunsenschen Absorptionskoeffizienten für den Temperaturbereich − 6 °C bis + 69°C. Als Methoden wurden die Dampfraumanalyse (statisch) und die Bestimmung von Retentionsdaten auf der gas-chromatographischen Trennsäule (dynamisch) gewählt. Als Ergebnisse können genannt werden:

- Die statische und die erstmalig auf dieses Problem angewandte dynamische Methode zeigen eine gute Übereinstimmung.
- Die Gaslöslichkeiten sind unabhängig vom Alterungsgrad und vom Inhibitorgehalt des Öles.
- Die Temperaturfunktionen erfüllen die 1. Ulichsche Näherung gut. Bis auf H_2 und N_2 sind die molaren Lösungsenthalpien der anderen Komponenten im untersuchten Temperaturbereich negativ.

Für die Anwendung der schubweisen Verteilung mußten die Bedingungen im Transformator folgendermaßen idealisiert angenommen werden:

- ständige Ölerneuerung an der Blasenoberfläche durch den Aufstieg bzw. die Ölzwangsumwälzung
- isothermes Ab- und Desorptionsgleichgewicht zwischen der Blase und jeder Ölerneuerung
- der Blasendruck ist konstant gleich dem Atmosphärendruck.

Mit diesen Vereinfachungen ergibt sich für die einmalige Gleichgewichtseinstellung die folgende Bilanzgleichung:

$$V_G^0\, p_i^0 + \frac{1}{\alpha_0'} V_i^0\, V_{\ddot{o}l} = V_G\, p_i + \frac{1}{\alpha_0} k_i\, p_i\, V_{\ddot{o}l}\,. \qquad (1)$$

Die Ausgangsblase wird mit einer definierten Ölmenge, die eine gegebene Anfangskonzentration besitzt, ins Gleichgewicht gebracht. Nach Einführung der Schreibweise

$\omega = V_G^0/V_{\ddot{o}l}$ und $\beta = V_G/V_{\ddot{o}l}$ folgt für den Partialdruck

$$p_i = \frac{\omega\, p_i^0 + \frac{1}{\alpha_0'} V_i}{\beta + \frac{1}{\alpha_0} k_i}\,. \qquad (2)$$

Für die schubweise Wiederholung ergeben sich damit Potenzreihen, deren Grad der Komponentenzahl entspricht. Die umfangreichen Modellrechnungen wurden mit bis zu 4 Komponenten durchgeführt und dabei die Parameter Ausgangsblasengröße und -zusammensetzung sowie Ölmenge, Luftsättigungsgrad und Temperatur variiert. Zwei der Abhängigkeiten sollen näher erläutert werden:

Bild 2 zeigt das berechnete Verhalten einer H_2/C_3H_8-Blase in unterschiedlich lufthaltigem Öl. V_n bedeutet das Blasenvolumen in Abhängigkeit von der Zahl der Gleichgewichtseinstellungen (Trennstufenzahl n). Das Verhältnis p_i/p_0 ist der Partialdruck des auf 1 normierten Gesamtdrucks. Beim luftgesättigten Öl löst sich die Blase nicht auf. Mit fallendem Luftsättigungsgrad verkleinert sich die zur vollständigen Auflösung benötigte Ölmenge. Der H_2-Partialdruck unmittelbar vor der vollständigen Auflösung steigt dabei an. Durch die schnelle Absorption des gutlöslichen C_3H_8 durchläuft der H_2-Partialdruck immer ein Maximum. Von Bedeutung ist, daß sich mit steigendem Ölkontakt H_2 im Zersetzungsgasanteil der Blase anreichert.

Das Verhalten einer H_2/CO_2-Blase unterschiedlicher Zusammensetzung in teilweise mit Luft gesättigtem Öl ist in Bild 3 dargestellt. Die Füllgaszusammensetzung bestimmt die zur Auflösung benötigte Ölmenge. Überwiegt das gutlösliche CO_2, ist diese Menge kleiner.

Interessant ist die Darstellung der Ab- und Desorptionsquotienten. Der Quotient H_2/CO_2 steigt monoton mit n, dagegen fällt der O_2/N_2-Quotient. Im Startbereich entspricht der Luftquotient der Blase dem der im Öl gelösten Luft.

Bei der umfangreichen experimentellen Prüfung wurden bei kleinen Ölmengen und vorwiegend geringöllöslichen Komponenten O_2/N_2-Quotienten gefunden, die größer waren als dieser Quotient bei der im Öl gelösten Luft. Diese thermodynamisch nicht erklärbare Erscheinung sollte mit dem größeren Diffusionskoeffizienten von Sauerstoff gegenüber Stickstoff im Öl zusammenhängen.

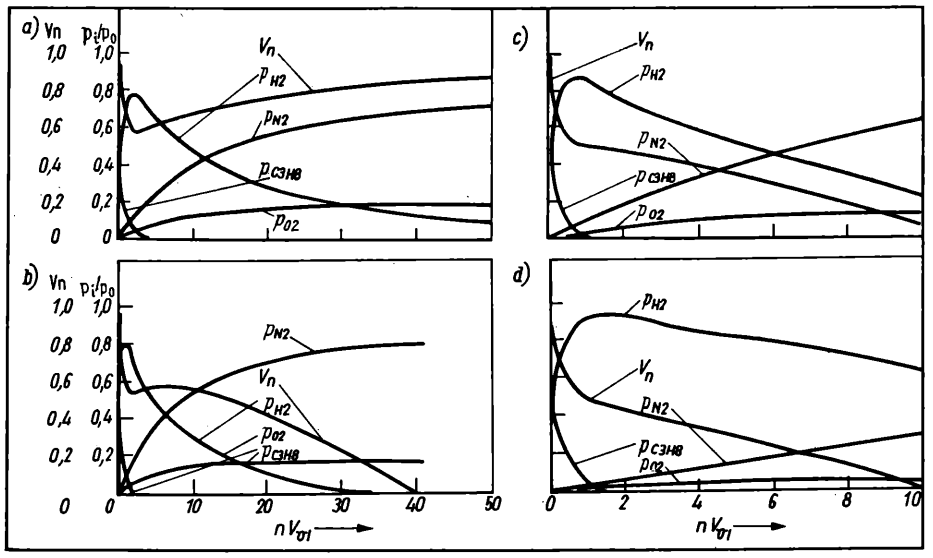


Bild 2. Veränderung von H_2/C_3H_8-Blase im Öl in Abhängigkeit vom Luftsättigungsgrad

	$V_{öl}$	n	ϑ	p'_{N2}	p'_{O2}
a)	0,5	50	60	0,8	0,2
b)	0,5	80	60	0,64	0,16
c)	0,5	30	60	0,4	0,1
d)	0,5	20	60	0,16	0,04

2. Korrektur der Relaisgaszusammensetzung

Anhand des Gasaustauschmodells kann die bisher undefiniert angenommene Änderung der Gaszusammensetzung beim Blasenaufstieg quantitativ korrigiert werden.

Dem Lösungsgedanken liegen Komponentenquotienten zugrunde, da diese einerseits das Diagnoseschema bilden und andererseits einen einfachen graphischen Verlauf bei den Modellrechnungen erkennen lassen (Bild 3). Im weiteren wurde versucht, die Absorptionsquotienten des Zersetzungsgases auf den Desorptionsquotienten der Luft zu beziehen, was bei der einmaligen Gleichgewichtseinstellung mittels Gl. (1) einfach möglich ist. Die formelmäßige Lösung für eine Relaisgaskorrektur fordert, die schubweise Verteilung in die multiplikative zu überführen.

Drei näherungsweise beim Gasaustausch erfüllte Bedingungen ermöglichen diesen Schritt ausgehend von Gl. (1) und führen zu den beiden folgenden Beziehungen:

$$n = n_0 + \left(\lg \frac{\alpha\beta + k_{N2}}{\alpha\beta + k_{02}}\right)^{-1} \lg \frac{p_{02}/p_{N2}\,(\text{Relaisgas})}{V_{02}/V_{N2}\,(\text{Öl})} \tag{3}$$

und

$$\frac{p_i}{p_j}(\text{Fehlerstelle}) = \left(\frac{\alpha\beta + p_0 k_i}{\alpha\beta + p_0 k_j}\right)^n \frac{p_i}{p_j}(\text{Relaisgas}), \tag{4}$$

wobei $k_i < k_j$.

Für die Anwendung gilt die Spontanitätsbedingung

$$p_i > 5 \cdot 10^{-6} \frac{V_i}{k_i}.$$

Beide Gleichungen beschreiben näherungsweise den monotonen Verlauf der Quotienten im Bild 3.

Aus den Ergebnissen der gas-chromatographischen Analyse des aus dem Öl extrahierten Gases und des Relaisgases wird über die Quotienten der Luftkomponenten nach Gl. (3) die Trennstufenzahl n für den Gasaustausch ermittelt. Dabei ist n_0 diejenige Trennstufenzahl, nach der in der Blase für die Luftkompenenten der Quotient des Öles erreicht ist. Damit wird das von der theoretischen Verteilung abweichende experimentelle Verhalten berücksichtigt.

Die Größen n_0 und β müssen unter Betriebsbedingungen anhand eines löslichkeitsmäßig repräsentativen Modellgases ermittelt werden und gelten dann für Transformatoren als gegebenes Parameterpaar.

Mathematisch ist so vorzugehen, daß Gl. (4) für alle Quotienten des Modellgases als n-von-β-Abhängigkeit geschrieben wird.

Graphisch sind das Geraden, deren eine Schnittpunktskoordinate β ist. n_0 läßt sich dann unter Einbeziehung der Luftkomponenten aus Gl. (3) ermitteln. Die näherungsweise Korrektur des Relaisgases auf die Originalzusammensetzung an der Fehlerstelle ergibt Quotienten, die aus dem Diagnoseschema für im Öl gelöste Gase die Fehlerart ermitteln gestatten. Die durch dieses Näherungsverfahren

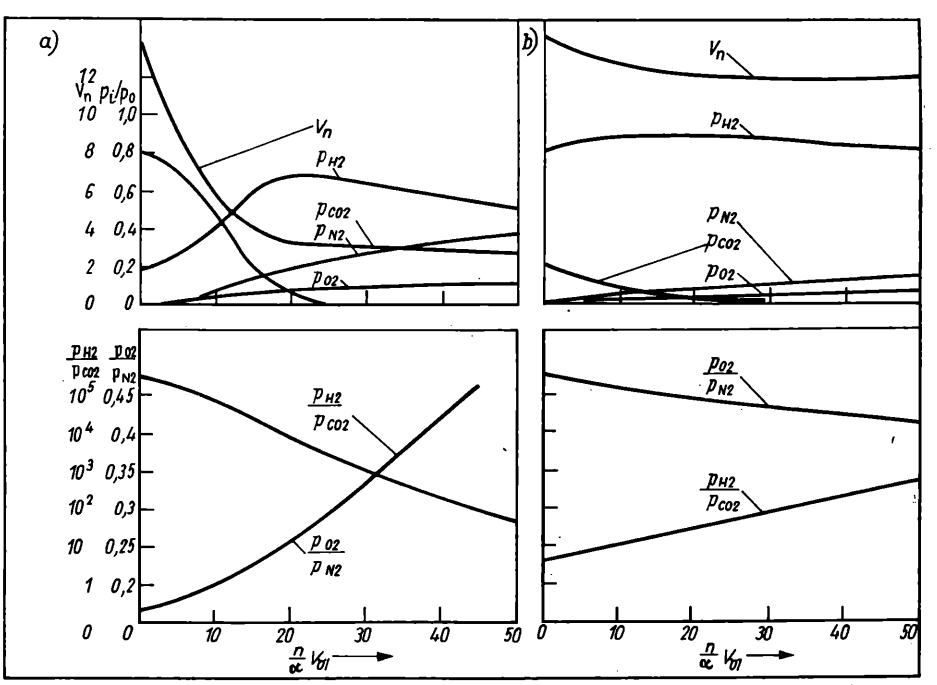


Bild 3. Auflösung von H_2/CO_2-Blasen in teilweise mit Luft gesättigtem Öl in Abhängigkeit von der Ausgangsblasenzusammensetzung

	$V_{öl}$	n	ϑ	p'_{N2}	p'_{O2}
a) ≡ b)	0,5	100	20	0,455	0,113

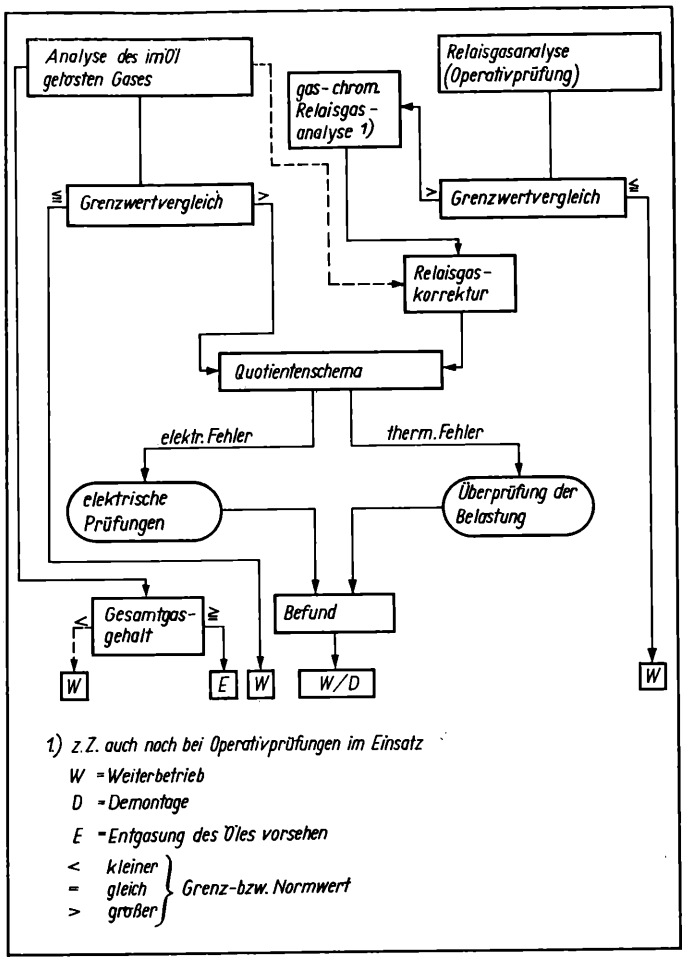


Bild 4. Routineablaufplan für die gasanalytische Transformatorendiagnostik

erzielte Genauigkeit entspricht den praktischen Anforderungen [6]. Bild 4 zeigt die mit der Relaisgaskorrektur methodisch erreichte Vereinheitlichung bei der gasanalytischen Transformatorendiagnostik. In der DDR wird seit einigen Jahren erfolgreich damit gearbeitet.

3. Zusammenfassung

Mit dem experimentell bestätigten Modell der schubweisen Verteilung für den Gasaustausch beim Blasenaufstieg von Zersetzungsgas ist erstmalig der Einfluß aller interessierenden Parameter graphisch darstellbar; speziell die Abhängigkeit von der Zersetzungsgaszusammensetzung und dem Luftsättigungsgrad des Öles wird näher erläutert.
Ausgehend von dem Gasaustauschmodell werden zwei Korrekturgleichungen abgeleitet, die es gestatten, bei spontanen Fehlern das Diagnoseschema für im Öl gelöste Gase auch auf Relaisgase anzuwenden. Die praktische Bedeutung wird veranschaulicht.

Literatur

[1] *Smirnov, M. A.:* Gaszovydelente pri povrezdenijach silovych transformatorov Tr. Vni. i. Elektroenerg. (49), 1976, S. 43 – 49
[2] *Müller, R.; Schliesing, H.; Soldner, K.:* Prüfung und Überwachung von Transformatoren durch Analyse der im Öl gelösten Gase. Elektrizitätswirtsch. 73 (1974), S. 683 – 686
[3] *Dörnenburg, E.; Strittmatter, W.:* Überwachung von Öltransformatoren durch Gasanalyse. Brown Boveri Mitt. (1974) 5, S. 238 – 247
[4] *Dörnenburg, E.; Hutzel, O.:* Betriebsüberwachung durch Untersuchung des Isolieröles ETZ-A 98, (1977), S. 211 – 215
[5] *Dörnenburg, E.; Gerber, O. E.:* Die Analyse gelöster und abgeschiedener Gase als Hilfsmittel für die Betriebsüberwachung von Öltransformatoren. Brown Boveri Mitt. 54 (1967) 2, S. 104 – 111
[6] *Bräsel, E.:* Neue Hilfsmittel zur Bewertung von Relaisgasen. Tagungsvortrag „Technische Diagnostik" 25./26. 10. 83 im Kombinat VEB Chemische Werke Buna EA 5333

Zur digitalen Berechnung von Ausgleichsvorgängen in Drehstromsystemen

U. Ballhorn, KDT; Erfurt

Die ständig steigenden Kurzschlußströme in Drehstromsystemen führten in letzter Zeit zur Entwicklung von Kurzschlußstrombegrenzungseinrichtungen auf Stromrichterbasis (KSBE) [1]. Da ein Kurzschluß im allgemeinen einen elektromagnetischen Ausgleichsvorgang zur Folge hat, und die Strom-Spannungsverhältnisse in Stromrichteranlagen ihrerseits durch sogenannte „innere" Ausgleichsvorgänge gekennzeichnet sind, ist zur Eingliederung einer KSBE in das Drehstromsystem eine Berechnung der zeitlichen Verläufe von Strom und Spannung notwendig. Ein Verfahren zur Berechnung von Ausgleichsvorgängen, das in [2] in seinen Grundlagen dargestellt wurde, geht von der exakten Beschreibung transienter Vorgänge mit Hilfe von Differentialgleichungen aus. Die auf der Basis des Knotenpunktverfahrens aufgestellten Differentialgleichungen werden diskretisiert. Die lineare Interpolation für konzentrierte Elemente unter Anwendung der Trapezregel und für Elemente mit verteilten Parametern mit Hilfe des Bergeron-Verfahrens in einem einheitlichen Algorithmus führt auf ein lineares, algebraisches Gleichungssystem, das innerhalb eines Zeitschrittverfahrens zu lösen ist. Die Anfangsbedingungen für jeden Zeitschritt sind in dem sogenannten „Vergangenheitsvektor" enthalten, dessen Elemente sich aus den Konstantgliedern energiespeichernder Systemelemente (Induktivitäten, Kapazitäten) berechnen. Da das Verfahren mit verhältnismäßig wenigen Parametern auskommt, wird dem Ingenieur damit ein brauchbares Hilfsmittel für Problemlösungen in Projektierung und Betriebsführung in die Hand gegeben. Im folgenden wird die Konzeption eines entsprechenden Digitalprogramms vorgestellt.
Das Programm bietet die Möglichkeit, den Einfluß bestimmter Betriebsmittel (z. B. KSBE) auf die Betriebsführung eines Elektroenergiesystems (EES) bereits im Entwurfsstadium einschätzen zu können. Umgekehrt werden Aussagen darüber möglich, welche Anforderungen in der Wechselwirkung aus dem EES heraus an das Betriebsmittel unter Berücksichtigung seines Wirkprinzips gestellt werden. Damit soll ein Beitrag zur Prozeßanalyse geliefert werden, die für eine Automatisierung des Netzbetriebes sowie für die Vervollkommnung der bereits im Betrieb befindlichen Systeme im Interesse der Energie- und Materialökonomie unerläßlich ist.

1. Die mathematischen Beschreibungsgleichungen

In [2] wurde vereinbart, daß jeder Zweig des Drehstromsystems genau ein Systemelement enthält, das durch die Knotenpunkte k und l abgeschlossen wird, unabhängig davon, ob es sich um einen real existierenden Knotenpunkt handelt oder nicht. Die auf der Grundlage des für die Berechnung von Ausgleichsvorgängen in Drehstromsystemen modifizierten Knotenpunktverfahrens entstehenden Zweiggleichungen für die Systemelemente mit konzentrierten Parametern (Widerstand, Induktivität, Kapazität, Transformator) haben die allgemeine Form

$$||i_{kl}^{(t)}|| = ||Y_{kl}|| \,[\,||u_k^{(t)}|| - ||u_l^{(t)}||\,] + ||K_{kl}^{(t-\Delta t)}|| \qquad (1)$$

$||i_{kl}^{(t)}||$ Vektor der drei Zweigströme zwischen den Knotenpunkten k und l zum Zeitpunkt t
$||Y_{kl}||$ Admittanzmatrix des Zweiges zwischen k und l
$||u_k^{(t)}||, ||u_l^{(t)}||$ Vektoren der Knotenpunktspannungen an den Punkten k und l zum Zeitpunkt t
Δt Zeitschrittweite.

Der Vektor $||K_{kl}^{(t-\Delta t)}||$ berücksichtigt die Systemvergangenheit bezüglich des Zeitpunktes t und ergibt sich aus den Spannungen und Strömen des entsprechenden Systemelementes zur Zeit $(t - \Delta t)$:

Dipl.-Ing. *Ulrich Ballhorn* ist Gruppenleiter im Bereich Forschung und Projektentwicklung des Datenverarbeitungszentrums Erfurt. Zur Zeit der Erarbeitung des Beitrages war er wissenschaftlicher Assistent an der Sektion Elektrotechnik der TH Ilmenau.

$$||K_{kl}^{(t-\Delta t)}|| = ||Y_{kl}|| \,[||u_k^{(t-\Delta t)}|| - ||u_l^{(t-\Delta t)}||] + ||i_{kl}^{(t-\Delta t)}||. \quad (2)$$

Transformatoren werden durch zwei gekoppelte Elementarzweige dargestellt:

$$\left\| \begin{matrix} ||i_{k0}^{(t)}|| \\ ||i_{l0}^{(t)}|| \end{matrix} \right\| = \left\| \begin{matrix} ||Y_{k0}|| & ||Y_{kl}|| \\ ||Y_{lk}|| & ||Y_{l0}|| \end{matrix} \right\| \left\| \begin{matrix} ||u_k^{(t)}|| \\ ||u_l^{(t)}|| \end{matrix} \right\| + \left\| \begin{matrix} ||K_{k0}^{(t-\Delta t)}|| \\ ||K_{l0}^{(t-\Delta t)}|| \end{matrix} \right\| . \quad (3)$$

(4)

Die Admittanzmatrix des Gleichungssystems (3) (4) enthält die primär- und sekundärseitige Zweigadmittanzmatrix ($||Y_{k0}||$, $||Y_{l0}||$) sowie die Matrizen der gegenseitigen Kopplung ($||Y_{kl}||$, $||Y_{lk}||$), die je nach Transformatorschaltgruppe unterschiedlich sind.

Für eine Leitung ergeben sich ebenfalls zwei Zweiggleichungen, da durch das Abfließen kapazitiver Blindströme gegen Erde die Zweigströme am Leitungsanfang und am Leitungsende verschiedene Werte haben:

$$||i_{k0}^{(t)}|| = ||Y_{kl}|| \; ||u_k^{(t)}|| + ||K_{k0}^{(t-\tau)}||, \quad (5)$$

$$||i_{l0}^{(t)}|| = ||Y_{kl}|| \; ||u_l^{(t)}|| + ||K_{l0}^{(t-\tau)}||. \quad (6)$$

Wie weit bei Elementen mit verteilten Parametern zur Bestimmung der Anfangsbedingungen für jeden Zeitschritt in die „Systemvergangenheit" zurückgegangen werden muß, hängt von der Wellenlaufzeit τ in den Vergangenheitsvektoren $||K^{(t-\tau)}||$ ab. Die Zeitschrittweite Δt wird so gewählt, daß τ ein ganzzahliges Vielfaches von Δt beträgt.

Durch Einsetzen der Zweiggleichungen (1) bis (6) in die Knotenpunktgleichungen eines Drehstromsystems und Partitionierung des entstandenen Knotenpunktgleichungssystems nach den Knotenpunkten mit bekannter Spannung ergibt sich das folgende lineare, algebraische Gleichungssystem, das innerhalb eines jeden Zeitschrittes gelöst werden muß:

$$||Y_{AA}|| \; ||u_A^{(t)}|| = ||i_A^{(t)}|| - ||Y_{AB}|| \; ||u_B^{(t)}|| - ||K_A^{(t-\Delta t)}|| \quad (7)$$

$||Y_{AA}||$, $||Y_{AB}||$	Untermatrizen der Admittanzmatrix des Drehstromsystems
$||u_A^{(t)}||$, $||u_B^{(t)}||$	Vektor der unbekannten (Index A) bzw. der bekannten (Index B) Knotenpunktspannungen zum Zeitpunkt t
$||i_A^{(t)}||$	Vektor der Knotenpunktströme zum Zeitpunkt t
$||K_A^{(t-\Delta t)}||$	Vektor der Vergangenheitsglieder $||K_{kl}^{(t-\Delta t)}||$ bzw. $||K_{kl}^{(t-\tau)}||$.

2. Aufbau der Elemente des Knotenpunktgleichungssystems

In dem zu untersuchenden Drehstromsystem werden alle vereinbarten Knotenpunkte von *1* bis *n* durchnumeriert. Die Knotenpunkte mit bekannter Spannung erhalten dabei die niedrigsten Knotenpunktnummern von *1* bis *m*. Infolge dieser Numerierung verschwinden durch Partitionierung des gesamten Knotenpunktgleichungssystems nach den Knotenpunkten mit bekannter Spannung $||u_B||$ die ersten *m* Gleichungen, und auf der rechten Seite des Gleichungssystems (7) erscheint der Spaltenvektor $||Y_{AB}|| \cdot ||u_B||$. Die Matrizen und Vektoren des Gleichungssystems werden vom Digitalrechner nach folgenden Vorschriften aufgebaut, die anhand eines in Bild 1 gezeigten Beispieles illustriert sind:

2.1. Aufbau der Spannungsvektoren

Die Elemente aller Spaltenvektoren des Gleichungssystems (7) sind entsprechend dem Dreiphasensystem ihrerseits Spaltenvektoren mit drei Elementen. Die Elemente des Vektors $||u_B||$ werden von den $3 \cdot m$ bekannten Knotenpunktspannungen u_1 bis u_{3m} gebildet. Der Vektor $||u_A||$ enthält die $3\,(n-m)$ unbekannten Spannungen u_{3m+1} bis u_{3n}.

2.2. Aufbau der Admittanzmatrizen

$||Y_{AA}||$ und $||Y_{AB}||$ sind Untermatrizen der Admittanzmatrix $||Y_N||$. Alle Elemente von $||Y_N||$ sind entsprechend der vorgenommenen Numerierung im Dreiphasensystem Matrizen vom Typ *(3, 3)*. Ein Nebendiagonalenelement der *k*-ten Zeile und *l*-ten Spalte von $||Y_N||$ entspricht jeweils der Admittanzmatrix des Zweiges zwischen den Knotenpunkten *k* und *l*. Liegen zwischen *k* und *l* mehrere Elementarzweige (*k* und *l* sind nicht benachbart), ist das Nebendiagonalenelement gleich Null. Dementsprechend ist im gezeigten Beispiel das Element $Y_N\,(2, 3) = ||Y_{23}||$ und das Element Y_N $(2, 4) = 0$. Befindet sich zwischen *k* und *l* eine Parallelschaltung gleichartiger Elementarzweige, ist für $||Y_{kl}||$ ihre Summe einzusetzen. Die Admittanzmatrizen eines Transformators sind stets mit negativem Vorzeichen in $||Y_N||$ einzutragen; in der Nebendiagonalen erscheinen also die Admittanzen $-||Y_{kl}||$ und $-||Y_{lk}||$ (vergleiche Gln. (3) (4)). In die Hauptdiagonale von $||Y_N||$ gehen die Transformatoradmittanzen $||Y_{k0}||$ und $||Y_{l0}||$ ein sowie die Admittanzen für Systemelemente, bei denen Erdverbindungen zu berücksichtigen sind (z.B. Leitungen). Alle in der Hauptdiagonalen auftretenden Elemente erhalten ein negatives Vorzeichen.

Die übrigen Hauptdiagonalenelemente ergeben sich als negative Summe der in der entsprechenden Zeile stehenden Nebendiagonalenelemente, mit Ausnahme der negativen Transformatorkoppeladmittanzen (siehe Beispiel).

Die Matrix $||Y_{AA}||$ entsteht schließlich aus $||Y_N||$ durch Streichen der ersten $3m$ Zeilen und Spalten und ist demzufolge eine Matrix vom Typ $(3\,(n-m), 3\,(n-m))$, die die Zweigadmittanzen $||Y_{m+1,m+1}||$ bis $||Y_{n,n}||$ enthält. Die Matrix $||Y_{AB}||$ entsteht aus $||Y_N||$ durch Streichen der ersten $3m$ Zeilen und der letzten $3\,(n-m)$ Spalten und ist vom Typ $(3\,(n-m), 3m)$.

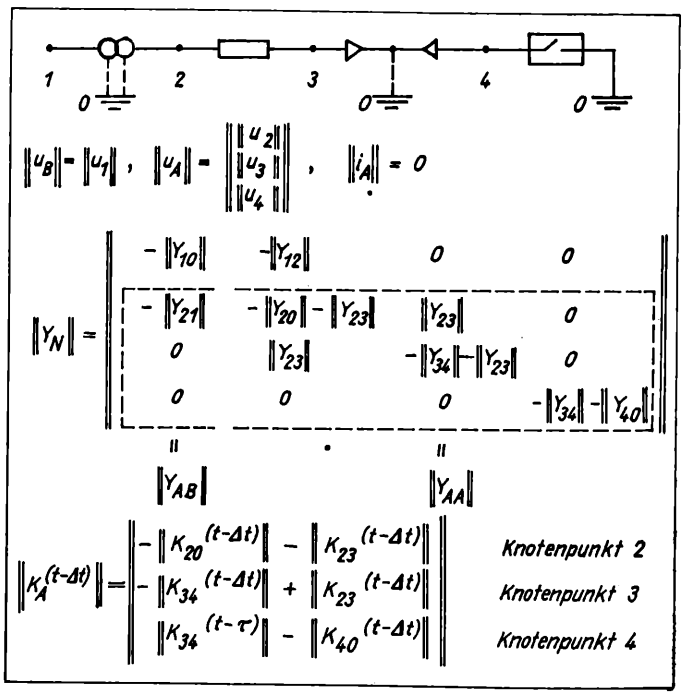


Bild 1. Beispiel einer dreiphasigen Schaltung mit Transformator, ohmschem Längsleitwert, Leitung und Schalter
$n = 4$; $m = 1$

2.3. Aufbau des Stromvektors

$||i_A||$ ist der Vektor der Knotenpunktströme, die in der Mehrzahl der zu betrachtenden Fälle gleich Null sind. $||i_A||$ erhält erst dann eine Bedeutung, wenn besondere Einspeisungen in bzw. Abnahmen von bestimmten Knotenpunkten berücksichtigt werden sollen.

2.4. Aufbau des Vergangenheitsvektors

Die Vektoren $||K_{kl}||$ im Spaltenvektor $||K_A^{(t-\Delta t)}||$ enthalten Ströme der Zweige, deren Admittanzmatrizen $||Y_{kl}||$ in der Hauptdiagonalen der $||Y_{AA}||$-Matrix stehen (siehe Bild 1).

Die Berechnungsgleichungen je nach Zweigelement sind bereits in [2] angegeben. Zu den Vorzeichen der einzelnen $||K_{kl}||$-Vektoren sei an dieser Stelle noch folgendes vermerkt:

Das Vorzeichen hängt von der Flußrichtung des entsprechenden Zweigstromes ab. Zur Erläuterung soll wiederum ein Beispiel dienen: Wenn man den Knotenpunkt *3* im Bild 1 betrachtet, so fließt der Zweigstrom $||K_{23}||$ entsprechend dem Index *2—3* zum Knotenpunkt *3* und erhält deshalb ein positives Vorzeichen. Der Zweigstrom $||K_{34}||$ ist vom Knotenpunkt *3* weggerichtet — negatives Vorzeichen.

3. Digitaler Rechenablauf

Die digitale Berechnung der unbekannten Spannungen $||u_A^{(t)}||$ durch Lösung des Gleichungssystems (7) sowie der Zweigströme $||i_{kl}^{(t)}||$ läuft nach dem im Bild 2 dargestellten Algorithmus ab.

Nach dem Einlesen der Daten werden die Matrix $||Y_{AA}||$ sowie die Elemente der rechten Seite des Gleichungssystems (7) aufgebaut. Der Ausgleichsvorgang setzt durch eine Schalthandlung zum Zeitpunkt $t = 0$ ein. Die Berechnung der Strom- und Spannungsverhältnisse im Drehstromsystem für den Schaltzustand vor Beginn des zu berechnenden Vorganges zur Ermittlung des Vektors der Vergangenheitsglieder $||K_A^{(t-\Delta t)}||$ erfolgt in einer Anfangsrechnung. Dazu bietet sich die Kopplung des Digitalprogramms zur Berechnung von Ausgleichsvorgängen mit einem üblichen Lastflußprogramm zur Berechnung stationärer Strom-Spannungsverhältnisse an. Enthält das System Elemente mit verteilten Parametern, entscheidet die Leitung mit der längsten Wellenlaufzeit τ_{max} darüber, wieviel Zeitschritte Δt in die Systemvergangenheit zurückzugehen ist (vgl. Abschnitt 1). Der Vergangenheitsvektor für den ersten Zeitschritt innerhalb der Anfangsrechnung enthält somit die Ströme und Spannungen zum Zeitpunkt

$$t_k = (1 - \nu_{max})\,\Delta t \tag{8}$$

mit

$$\nu_{max} = \frac{\tau_{max}}{\Delta t}. \tag{9}$$

In der Anfangsrechnung erfolgt die Ermittlung aller Vergangenheitsvektoren vom Zeitpunkt t_K in Zeitschritten Δt bis zum Zeitpunkt $t = 0$. Für diese Berechnungsphase sind die Matrizen $||Y_{AA}||$ und $||Y_{AB}||$ für den Systemzustand vor der Schalthandlung aufzubauen.

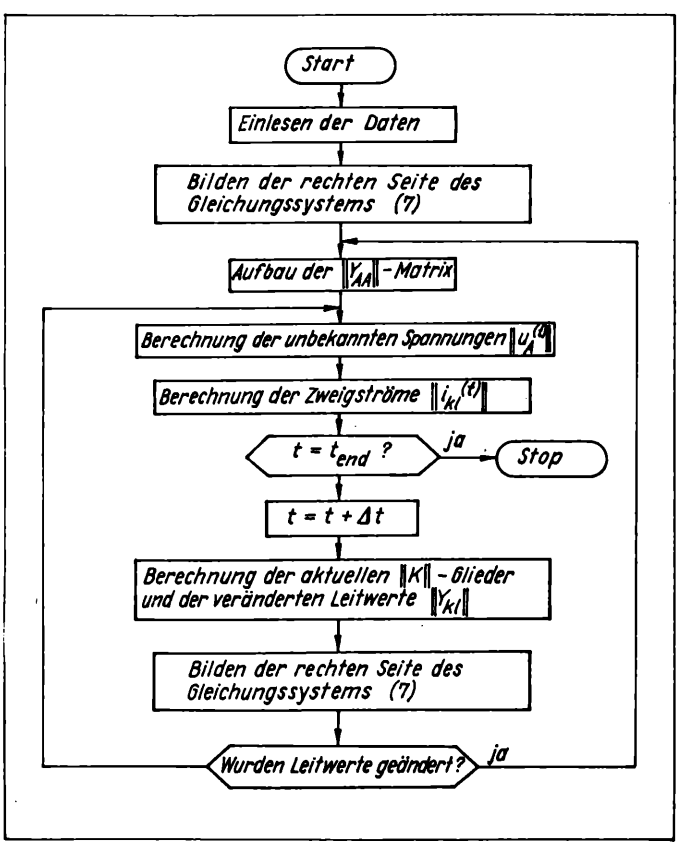
Sind in dem Drehstromsystem keine Leitungen vorhanden, beschränkt sich die Anfangsrechnung auf den Zeitpunkt $t = 0 - \Delta t$.

Die Anfangsrechnung kann entfallen, wenn vom Leerlauf des zu berechnenden Drehstromsystems ausgegangen wird. Dann ist der Vergangenheitsvektor für den ersten Zeitschritt der laufenden Rechnung gleich Null.

Die Matrizen $||Y_{AA}||$ und $||Y_{AB}||$ müssen nun für den veränderten Schaltzustand des Systems nach der Schalthandlung neu aufgebaut bzw. die sich ändernden Leitwerte entsprechend ersetzt werden. Während der eigentlichen Phase der Berechnung des Ausgleichsvorganges bleiben diese Matrizen bei gleichbleibender Schrittweite und unverändertem Schaltzustand konstant. Für diesen Fall ist es günstig, das Gleichungssystem (7) mittels Matrixinversion zu lösen, da die inverse Matrix $||Y_{AA}||^{-1}$ nur einmal gebildet werden muß.

Aus den berechneten Knotenpunktspannungen $||u_A^{(t)}||$ können mit Hilfe der Zweiggleichungen die entsprechenden Zweigströme gewonnen werden. Ist $t = t_{end}$ erreicht, wird die Berechnung abgebrochen, andernfalls geht der Rechner zum nächst folgenden Zeitschritt über.

Bild 2. Grobflußplan des Digitalprogramms



Tafel 1. Beispiel einer Elementeliste

mit:

P_{vk} Kurzschlußleistung eines Transformators YyO, u_n Nennspannung, S_{nT} Nennscheinleistung, u_k spezif. Kurzschlußspannung, $\ddot{u}$ Übersetzungsverhältnis, R_{E1}, L_{E1}, R_{E2}, L_{E2} ohmscher Widerstand und Induktivität der primär- (Index 1) und der sekundärseitigen (Index 2) Sternpunkterdung; G_{11}, G_{22}, G_{33} Leitwerte der Phasen a, b und c; L_0, L_B Null- und Betriebsinduktivität, C_E, C_B Erd- und Betriebskapazität und l_L Länge einer Leitung

LNZ	CZ	PZ	Liste (LNZ, 3) bis Liste (LNZ, 15)												
1	360	1	P_{vk}	u_n	S_{nT}	u_k	$\ddot{u}$	R_{E1}	L_{E1}	R_{E2}	L_{E2}	0	0	0	UF
2	310	1	G_{11}	0	0	0	G_{22}	0	0	0	G_{33}	0	0	0	UF
3	350	1	L_0	L_B	C_E	C_B	l_L	0	0	0	0	0	0	0	UF
4	312	1	G_{11}	0	0	0	G_{22}	0	0	0	G_{33}	0	0	0	UF

Befindet sich eine KSBE auf Stromrichterbasis im zu untersuchenden Drehstromsystem, muß damit gerechnet werden, daß sich die entsprechenden Leitwerte nach wenigen Zeitschritten ändern. Das liegt darin begründet, daß die Admittanzmatrix $||Y_{kl}||$ der KSBE sehr stark von dem jeweiligen Betriebszustand und damit von dem Durchlaßzustand der Ventile abhängig ist, der sich wiederum innerhalb weniger Zeitschritte ändern kann. Die Knotenpunktadmittanzmatrizen sind in diesem Fall für jeden Zeitschritt mit verändertem Betriebszustand der KSBE neu aufzubauen, bzw. die sich ändernden Leitwerte müssen ersetzt werden. Für die Lösung des Gleichungssystems (7) ist dann ein iteratives Lösungsverfahren (Relaxationsverfahren) rechentechnisch günstiger, da eine Matrixinversion in jedem Zeitschritt einen größeren Aufwand an Rechenzeit erfordern würde. Die Matrixinversion wird hierbei nur für den ersten Zeitschritt angewendet, damit für das Relaxationsverfahren im folgenden Zeitschritt eine korrekte Startlösung vorliegt. Die Wahl des Lösungsverfahrens wird im Programm mittels einer eingegebenen Steuergröße getroffen.

4. Organisation der Eingabedaten

Die Eingabe der Daten für die Systemelemente zwischen den Knotenpunkten k und l erfolgt über eine Elementeliste. Eine solche Liste ist für das im Bild 1 gezeigte Beispiel in Tafel 1 dargestellt.

Der Transformator wird durch insgesamt vier Zweigadmittanzmatrizen beschrieben, so daß sich für die Berechnung 4 Elementarzweige ergeben: 1. von k nach l, 2. von l nach k, 3. von k nach 0, 4. von l nach 0. Ein Leitungszweig wird durch 2 Elementarzweige nachgebildet: 1. von k nach 0, 2. von l nach 0. Die Zuordnung der Elementarzweige zu den Knotenpunkten K und L (Großschreibung für die Größen des Digitalprogramms) erfolgt über die laufende Nummer LNZ der Elementeliste mit Hilfe der in Tafel 2 angegebenen Zweigliste.

Jedes Systemelement erhält eine Codezahl CZ sowie eine Parallelschaltzahl PZ. Damit die Zweigzuordnung in der Zweigliste eindeutig wird, dürfen die Systemelemente Transformator und Leitung nicht unmittelbar benachbart sein. Aus diesem Grund machte sich in dem gezeigten Beispiel die Einführung eines Hilfszweiges erforderlich. Die Zweiglistennummer LN läuft von 1 bis zur Anzahl der Elementarzweige ZW, die sich wie folgt berechnet:

$$ZW = 4n_T + 2n_L + n_E + n_H \tag{10}$$

n_T Anzahl vorhandener Transformatoren
n_L Anzahl vorhandener Leitungen
n_E Anzahl der übrigen Systemelemente
n_H Anzahl der Hilfszweige.

Die drei letzten Spalten der Zweigliste enthalten die in den Vergangenheitsvektor für den ersten Zeitschritt eingehenden Zweigströme. Die Umrechnung der Admittanzwerte auf eine beliebig wählbare Spannungsebene geschieht im Programm mittels des mit der Elementeliste einzugebenden Umrechnungsfaktors UF.

Tafel 2. Beispiel einer Zweigliste

mit $i_{a,\,b,\,c}^{(t-\Delta t)}$ Zweigströme der Phasen a, b und c zum Zeitpunkt $(t - \Delta t)$

LN	K	L	LNZ	$i_a(t-\Delta t)$	$i_b(t-\Delta t)$	$i_c(t-\Delta t)$
1	1	2	1	0	0	0
2	2	1	1	0	0	0
3	1	0	1	0	0	0
4	2	0	1	0	0	0
5	2	3	2	0	0	0
6	3	0	3	0	0	0
7	0	4	3	0	0	0
8	4	0	4	0	0	0

Tafel 3. Eingabe für den Aufbau des Vektors der bekannten Spannungen $||\mu_B^{(l)}||$
mit $\hat{\mu}_{a,b,c}$ Spannungsamplituden in den Phasen a, b, und c in kV; a, b, c Phasenwinkel in °

Knotenpunkt	$\hat{\mu}_a$	$\hat{\mu}_b$	$\hat{\mu}_c$	a	b	c
1	10,5	10,5	10,5	0	240	120

Tafel 4. Eingabe der Knotenpunktspannungen für den Aufbau des Vergangenheitsvektors $||K_A^{(t-\Delta t)}||$
mit $u_{a,b,c}^{(t-\Delta t)}$ Knotenpunktspannungen in den Phasen a, b und c zum Zeitpunkt $(t-\Delta t)$

Knotenpunkt	$u_a(t-\Delta t)$	$u_b(t-\Delta t)$	$u_c(t-\Delta t)$
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0

Die Werte für UF ergeben sich aus den Übersetzungsverhältnissen $\ddot{u}$ aller Transformatoren 1 bis j ($\ddot{u}$ = Überspannung : Unterspannung), die zwischen der Spannungsebene des betreffenden Elementarzweiges und der gewählten Bezugsspannungsebene liegen.
Die Eingabe der für den ersten Zeitschritt in den Vergangenheitsvektor eingehenden Knotenpunktspannungen sowie der bekannten Spannungen für den Vektor $||u_B^{(t=0)}||$ erfolgt ebenfalls über entsprechende Listen, die in den Tafeln 3 und 4 für das in Bild 1 angenommene Beispiel dargestellt sind. Weitere Daten des Drehstromsystems sind:

N	Anzahl der Knotenpunkte im Drehstromsystem,
M	Anzahl der Knotenpunkte mit bekannter Spannung,
AVE	Anzahl vorhandener Systemelemente,
ZW	Anzahl der Elementarzweige,
$FREQ$	Betriebsfrequenz des Drehstromsystems.

Außerdem ist noch die Eingabe der Parameter des Zeitschrittverfahrens notwendig, wie Zeitschrittweite, Endzeit, Relaxationsfaktor und Genauigkeit für das iterative Lösungsverfahren, Steuergröße für die Auswahl des Lösungsverfahrens sowie bestimmte Daten für die Ergebnisausgabe in Diagrammform (Art und Anzahl).

5. Ergebnisausdruck

Der Rechner druckt zuerst neben allen anderen Eingabedaten die mit Hilfe der beiden eingelesenen Listen (siehe Tafeln 3 und 4) intern aufgebaute Zweigliste aus, die sämtliche Elementarzweige mit allen notwendigen Daten enthält. Ein Fehler bei der Eingabe dieser Listen wird durch einen entsprechenden Fehlerausdruck signalisiert und die Programmbearbeitung abgebrochen.
Weiterhin erfolgt ein Ausdrucken der Admittanzmatrizen $||Y_N||$, $||Y_{AA}||$ und $||Y_{AB}||$. Für jeden Zeitschritt werden die bekannten und unbekannten Knotenpunktspannungen sowie die Zweigströme ausgegeben. Außerdem ist ein Auszeichnen zeitlicher Verläufe für ausgewählte Knotenpunkte möglich.

6. Zusammenfassung

Das Digitalprogramm zur Berechnung zeitlicher Zweigstrom- und Knotenpunktspannungsverläufe im Drehstromsystem beinhaltet die Lösung des linearen Gleichungssystems (7) innerhalb eines Zeitschrittverfahrens und wird in der Programmiersprache PL/1 erarbeitet. Die Dateneingabe erfolgt im wesentlichen in Form entsprechender Listen. Die Berechnung der stationären Strom- und Spannungswerte vor Eintritt des Ausgleichsvorgangs zur Ermittlung der Anfangsbedingungen für den ersten Zeitschritt des numerischen Integrationsverfahrens geschieht in einer Anfangsrechnung. Die Anfangsrechnung entfällt, wenn vom Leerlauf des Drehstromsystems ausgegangen wird. Während der Berechnung des Ausgleichsvorganges bleiben die Admittanzmatrizen $||Y_{AA}||$ und $||Y_{AB}||$ für gleichbleibende Schrittweite und unveränderten Schaltzustand konstant, so daß die Lösung des Gleichungssystems mit einer einmaligen Matrixinversion erfolgen kann. Dagegen können sich bei Vorhandensein einer KSBE auf Stromrichterbasis im Drehstromsystem die entsprechenden Leitwerte in den Admittanzmatrizen infolge ständig wechselnder Ventilbeteiligung fortlaufend ändern. Für diesen Fall ist die Anwendung eines Relaxationsverfahrens zur Lösung von Gleichung (7) in jedem Zeitschritt rechentechnisch effektiver. Die in Testrechnungen gewonnenen Erfahrungen hinsichtlich Rechenzeitaufwand und Genauigkeit werden zu gegebener Zeit veröffentlicht

Literatur

[1] *Herold, G.; Gebhardt, L.; Pfeiler, V.:* Kurzschlußstrombegrenzung in Drehstromsystemen mit Stromrichtern in Brückenschaltung. ELEKTRIE, Berlin 34 (1980) 10, S. 554 – 556

[2] *Pfeiler, V.; Hoffmann, U.:* Mathematisches Verfahren zur Untersuchung transienter Betriebsvorgänge in Drehstromsystemen mit Kurzschlußstrombegrenzungseinrichtungen. Wiss. Zeitschrift der TH Ilmenau, (1982) 6, S. 119 – 130.

EA 5222

Potentialgetrennte Meßwertabbildung der Stromstärke in Schaltanlagen mittels Brückenwandler

W. Brendler, KDT, Dresden

Der konventionelle, nach dem Transformationsprinzip arbeitende Meßwandler erfüllt, analysiert man seine Funktion, zwei Aufgaben. Er liefert einerseits das Informationssignal über den momentanen Betriebszustand des Systems, andererseits die Energie für den Eigenbedarf der meßwertverarbeitenden Glieder (Zähler, Relais, Meßinstrumente usw.). Der erreichte Erkenntnis- und Entwicklungsstand in der Elektronik bietet eine Vielzahl von Möglichkeiten, die Funktion konventioneller Meßwandler in zwei getrennte Funktionsgruppen aufzuspalten, die in ihrem Zusammenwirken technisch-ökonomisch günstigere Parameter aufweisen. Eine erfolgversprechende Variante in dieser Hinsicht ist der sogenannte *Brükkenwandler*. Bei ihm wird das Informationssignal in einer Kompensationsschaltung leistungsarm, mit äußerst geringen Fehlern vom System abgegriffen. Als Energiequelle wirkt ein elektronischer Leistungsverstärker.
Vorteile im Vergleich zum konventionellen Meßwandler sind: absolute Kurzschlußfestigkeit, minimaler Materialeinsatz und außergewöhnliche Fehlerarmut bei der Meßwertabbildung. Weiterhin ergibt sich die Möglichkeit einer konstruktiven Integration in vorhandene Isolieranordnungen von Baugruppen der Schaltanlage.

1. Gründe für das Bedürfnis nach einer Ablösung der klassischen Stromwandler

Die in Schaltanlagen eingesetzten Meßwandler sind speziell dimensionierte Zweiwicklungstransformatoren, angepaßt an ihren Anwendungszweck am Einbauort. Unterschiede, im Vergleich zum Leistungstransformator, zeigen sich bei der Nennleistung, im Aufbau und in der Wirkungsweise. Die Kosten und das Bauvolumen von Meßwandlern stehen, verglichen mit Leistungstransformatoren, in keinem Verhältnis zu ihrer geringen Nennleistung. Sie werden durch die relativ große Masse an Kern-, Isolier- und Wicklungsmaterial sowie durch die Art und Qualität dieser Werkstoffe bestimmt. Dabei ist die erforderliche Masse abhängig von den durch das System vorgegebenen technischen Parametern am Einbauort (Nennspannung U_n, Nennstrom I_{1n}, Kurzschlußstrom I_{1K}), von der Nennbürde S_n (Nennscheinleistung) und von Anforderungen, hinsichtlich maximal zugestandener Fehler bei der Meßwertübertragung im stationären Normalbetrieb sowie im Kurzschlußfalle. Ohne Einschränkung muß weiterhin gewährleistet sein, daß Stromwandler die am Einbauort auftretenden Kurzschlußströme thermisch und dynamisch vertragen, ohne Schaden zu nehmen. Besonders diese Bedingung hat entscheidenden Einfluß auf die Dimensionierung der Wicklung bzw. des Magnetkernes.
Mit vertretbaren Vereinfachungen läßt sich eine funktionelle Abhängigkeit für die erforderliche Masse des Magnetkernes von den geforderten technischen Parametern und Werkstoffkennwerten des zum Einsatz kommenden Magnetmaterials finden. Es sind dies (Bild 1):

- Nenn-Scheinleistung der Bürde S_n
- Nennstrom I_{1n}
- gewählte Windungszahl für die Primärwicklung w_1
- Kurzschlußstrom I_{1K}
- Nenn-Überstromzahl n
- mittlere Länge des im Kern verlaufenden Magnetflusses l_K
- komplexer Fehler im normalen Arbeitsbereich F
- zulässiger Fehler beim n-fachen Überstrom F_c.

Die Qualität des Magnetwerkstoffes repräsentieren die Größen Permeabilität μ_K und Sättigungsinduktion $\hat{B}_S$.

Prof. Dr.-Ing. habil. *Werner Brendler* ist ordentlicher Professor an der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden.

Die Arbeit entstand im Auftrag der FKG ELTRA.

Bei Stromwandlern für *Meßzwecke* wird die Abhängigkeit der Masse des Magnetkernes beschrieben durch

$$m_k \sim \frac{S_n\, l_k^2}{\mu_k F\, (I_{1n}\, w_1)^2}, \tag{1}$$

bei Stromwandlern für *Schutzzwecke* durch

$$m_k \sim \frac{n\, S_n\, l_k}{\hat{B}_s\, (1 - F_e)\, (I_{1n}\, w_1)}. \tag{2}$$

Die mittlere Kernweglänge l_K ist dabei vorgegeben durch die Fläche des Wickelfensters für die Aufnahme der Wicklungen und der Isolation (abhängig von der Systemspannung) sowie von der vom Kernquerschnitt A_K abhängigen, radialen Ausdehnung des Kernes.
Neben der von den äußeren Abmessungen des Wandlers bestimmten, begrenzt verfügbaren Wickelfensterfläche setzt insbesonders die zu gewährleistende Kurzschlußfestigkeit der Wahl der Windungszahl w_1 Grenzen, da sowohl die thermische als auch die dynamische Kurzschlußbeanspruchung der Wicklungen quadratisch mit dem Produkt $I_1 w_1$ wachsen.
Der Entwicklungstrend im Schaltanlagenbau orientiert auf Kleinräumigkeit (SF_6-, Feststoff-, Teilfeststoff-Isolation) und bezüglich der technischen Parameter, bestimmt durch die Zunahme der Energiedichte im System, auf höhere Kurzschlußströme, vergrößerte Werte der Netz-Zeit-Konstante (damit höhere Anforderungen an die Schutztechnik, hinsichtlich Sicherheit, Schnelligkeit und Selektivität) und im Verbundsystem zu höheren Systemspannungen. Alle diese Faktoren wirken sich nachteilig auf die Ausführbarkeit der Stromwandler hinsichtlich maximal vertretbarer Abmessungen (Masse) aus, bei Vorgabe entsprechender Leistungsparameter.
Große Kurzschlußströme I_{1K} verlangen einerseits, wegen der thermischen Festigkeit, auf Nennstrom bezogen stark überdimensionierte Leiterquerschnitte für die Primärwicklung. Um die Wicklung im Wickelfenster unterzubringen, müssen die Windungszahlen entsprechend klein bemessen sein. Die gleiche Betrachtung gilt für die dynamische Festigkeit. Die auf die Wicklungen wirkenden Stromkräfte sind proportional dem Quadrat des Produktes $l_1 w_1$, wobei im Kurzschlußstrom für $\bar{I}_1$ der Scheitelwert des im ungünstigsten Falle voll verlagerten Kurzschlußstromes $\hat{i}_{max}$ in Rechnung zu setzen ist.
Die aus Gründen der Kurzschlußfestigkeit erforderliche Verminderung der Windungszahl w_1 zieht, gemäß der Gleichungen (1) und (2) unweigerlich eine Vergrößerung des Magnetkernes nach sich. Die Gleichungen lassen eindeutig erkennen: Hohe Kurzschlußfestigkeit (im Idealfalle realisiert durch einen Einleiter-Stromwandler mit $w_1 = 1$) steht im Widerspruch zur Kleinräumigkeit, zur fehlerarmen Meßwertübertragung, zu hohen Nenn-Überstromzahlen und einer hinreichend groß bemessenen Bürdenleistung. Hohe Kurzschlußleistungen im Netz einerseits und der Fortschritt im Schaltanlagenbau andererseits, fordern diesen Widerspruch geradezu heraus.
In gekapselten, SF_6-isolierten Schaltanlagen können, vorgegeben durch die Konstruktion, prinzipiell nur Einleiter-Stromwandler mit einem außergewöhnlich hohen Aufwand an Kernmaterial zum Einsatz kommen. In der Mittelspannungsebene ermöglichen Schalter mit neuen Löschprinzipien (z. B. Vakuum- und SF_6-Schalter), in Verbindung mit Fest- und Teilfeststoffisolation der Sammelschienen den Sammelschienenabstand beachtlich zu reduzieren. Diesen Entwicklungstrend können, das zeigen die vorangestellten Überlegungen, klassische Stromwandler nicht folgen.

2. Nichtkonventionelle Meßwandler

Als *nichtkonventionell* sind alle die Wandler zu verstehen, bei denen vom Betriebsstromkreis nur das Informationssignal über den Wert der Meßgröße abgegriffen wird. Die Energie für den Leistungsbedarf der Bürde liefert eine Hilfsenergiequelle. Bild 2 zeigt in Blockdarstellung den Unterschied zwischen konventionellem und nichtkonventionellem Wandler.
Eine Zusammenstellung über die in den vergangenen 30 Jahren bekannt gewordenen Test- und Labormuster von nichtkonventionellen Wandlern (direkte und indirekte Lichtmodulation, HF-Modulation usw.) enthält [1].
Ein nichtkonventioneller Stromwandler liegt auch dann vor, wenn das bewährte Transformationsprinzip zur potentiellgetrennten Signalübertragung genutzt und durch eine geeignete Schaltungsvariante der Leistungsbedarf für die Bürde getrennt aufgebracht wird. Eine derartige Variante ist der Brückenwandler (Bild 3).

Bild 1. Prinzipieller Aufbau eines Stromwandlers

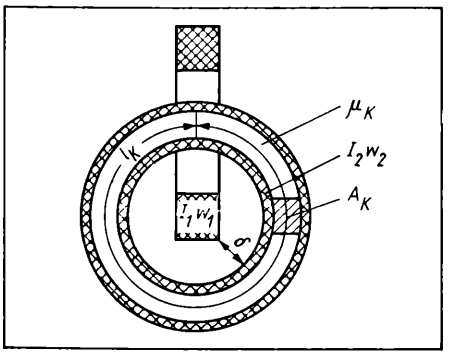


Bild 2. Funktionsaufspaltung bei *a*) konventionellen und *b*) nichtkonventionellen Stromwandlern

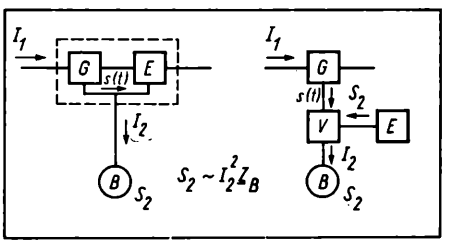
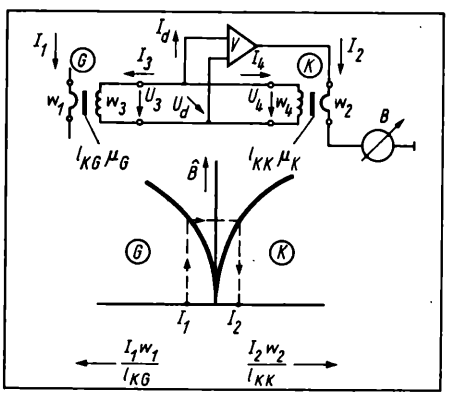


Bild 3. Grundschaltung des Brückenwandlers und Magnetisierungscharakteristik von Geber und Kompensator



3. Funktionsprinzip des Brückenwandlers

Grundgedanke für die Konzipierung des Brückenwandlers ist eine Schaltungsanordnung nach Bild 3.
Ein im Prinzip konventioneller Stromwandler (G), dimensioniert auf eine Bürdenleistung $S_B \approx 0$, wirkt als Geber für das Informationssignal. Belastet ist der Geber nur durch seine Eigenbürde S_E, die infolge der geringen Windungszahl w_3 und der kurzen Windungslängen einen sehr kleinen Wert aufweist. Der durch die Streuspannung gebildete Anteil an der Eigenbürde ist vernachlässigbar gering, insbesondere dann, wenn der Magnetkreis als geschlossener Ringkern ausgeführt und die Wicklung gleichmäßig auf den Umfang verteilt ist. Auch für kleine Werte der Nennstromstärke I_1 bewirkt der niedrige Wert der Gesamtbürde einen Leistungsbedarf $S_n = S_B + S_E \approx S_E$, der es erlaubt, den Geber als Einleiterwandler mit geringer Masse am Kernmaterial auszuführen. Der Sekundärwicklung w_3 des Gebers wird die Sekundärwicklung w_4 eines weiteren Stromwandlers (K) als Kompensator in einer Brückenanordnung gegengeschaltet. Zur Erläuterung der Wirkungsweise sei zunächst davon ausgegangen, beide Wandler (G) und (K) seien vollkommen identisch. Wird nun in die Primärwicklung w_2 des Wandlers (K) ein Strom i_2 eingespeist, der gleich dem Strom i_1 in der Primärwicklung w_1 des Wandlers (G) sei, dann ist die Spannung u_3 im Brückenzweig gleich Null.
Weicht dagegen der Strom i_2 von i_1 ab, ist $u_3 \neq 0$.
Den exakt zu i_1 proportionalen Strom i_2 kann man sehr leicht dynamisch selbsttätig aufbringen durch einen Leistungsverstärker, der mit einem theoretisch unendlich großen Verstärkungsfaktor (Leistungs-Operationsverstärker) ausgerüstet ist. Der Leistungs-Operationsverstärker gibt an seinem Ausgang in dieser Regelschaltung stets einen Strom i_2 ab, der so groß ist, daß sich im Brückenzweig $u_3 \approx 0$ einstellt.
Da beide Wandler (G) und (K) identisch sind, sie demzufolge die gleiche (wie auch immer geartete) Fehlercharakteristik aufweisen, gilt $i_2 = i_1$, abgesehen von der kaum nachweisbaren Regelabweichung.

Natürlich ist dieser Fall, daß (G) und (K) identisch sind, für die praktische Nutzanwendung bedeutungslos, da ein Stromwandler bekanntlich die Aufgabe hat, die Meßgröße i_1 proportional in einen in der Regel kleineren Wert i_2 (Nennwert $I_2 = 1$ (5) A) umzuwandeln. Dazu muß jedoch bemerkt werden, daß die Forderung nach Identität sich nur auf die Fehlercharakteristiken von Geber- und Kompensationswandler bezieht, nicht auf die Absolutwerte der Ströme, die Abmessungen und die äußere konstruktive Gestaltung.

Eine Identität der Fehlercharakteristik ist hinreichend gesichert, wenn jeweils für (G) und (K) übereinstimmen:

1. Die Magnetisierungscharakteristiken der beiden Magnetkerne müssen gleichen Verlauf zeigen. Dies gilt als gesichert, wenn beide aus gleichem Magnetwerkstoff aufgebaut sind.
2. Sie müssen im Kernquerschnitt und in ihrer Sekundärwicklung (Drahtquerschnitt und Windungszahl von w_3 bzw. w_4) so dimensioniert sein, daß beide Kerne den gleichen Wert der Nenninduktion aufweisen. Dies ist erfüllt, wenn

   $i_3 (R_3 + j\omega L_{3\sigma}) = i_4 (R_4 + j\omega L_{4\sigma})$ und

   $w_3 A_{KG} = w_4 A_{KK}$ gilt.
3. Beide Wandler (G) und (K) müssen für jeden Arbeitspunkt, für jede Meßgröße i_1 gleiche Aussteuerungen der Magnetisierungskurve zeigen. Es muß der Quotient $\frac{i\,w}{l_K}$ mit l_K als Länge des Weges der magnetischen Flußröhren im Kern (= Kernweglänge) für (G) und (K) übereinstimmen.

Die Bedeutung der 3. Bedingung hinsichtlich der möglichen Unterschiede in der Baugröße (G) und (K), läßt ein einfaches Zahlenbeispiel erkennen.

Konzipiert werden soll ein Geber, ausgeführt als Einleiterstromwandler, für einen Nennstrom $I_{1n} = 100$ A mit einer extrem großen Kernweglänge $l_K = 2$ m.

Der Kompensationswandler für die Einspeisung der Bürde mit einem Nennstrom $I_{2n} = 1$ A soll aus einem extrem kleinen Kern mit einer Kernweglänge $l_K = 0{,}1$ m ausgeführt sein.

Die erforderliche Windungszahl w_2 ergibt sich dann für einen Sekundärnennstrom $I_{2n} = 1$ A mit 5 Windungen.

Geber (G): $I_{1n} = 100$ A
$w_1 = 1$ (Einleiterstromwandler)
$l_K = 2$ m

$$\frac{I_{1K} w_1}{l_K} = 50 \text{ A/m}$$

Kompensator (K): $I_{2n} = 1$ A
$l_k = 10$ cm $= 0{,}1$ m

$$w_2 = \frac{50 \text{ A m } 0{,}1 \text{ m}}{1 \text{ A}} = 5$$

Die Windungszahlen w_3 und w_4 für die Sekundärwicklungen im Brückenkreis sind in gewissen Grenzen frei wählbar und relativ klein, sie sind in der Nennübersetzung I_{1n}/I_{2n} angepaßt und stehen untereinander in einem festen Verhältnis. Wesentlich jedoch ist, daß, bestimmt durch die geringe Windungszahl und die kleinen mittleren Windungslängen, der Leistungsbedarf für die Eigenbürde sowohl im Geber- als auch im Kompensationswandler außergewöhnlich kleine Werte aufweist. Und da (G) und (K) jeweils nur mit ihrer Eigenbürde belastet sind (S_B für beide Wandler gleich Null), ergeben die durch die Gleichungen (1) und (2) bestimmten Kernquerschnitte ebenfalls außergewöhnlich kleine Werte. Im obigen Zahlenbeispiel genügt bereits ein Kernquerschnitt von nur 15 mm² für den mit $I_{1n} = 100$ A und als Ringkern mit einem Kerndurchmesser 64 cm $= l_K = 2$ m projektierten Geber, ausgeführt als Einleiterwandler, um den Genauigkeitsforderungen der Klasse 0,2 genügen zu können. Experimentelle Überprüfungen an einem Labormuster haben die vorausberechneten Werte bestätigt. In konventioneller Ausführung hätte ein Einleiter-Stromwandler mit den gleichen extrem kritischen Daten (geringe Nennstromstärke und sehr großer Kerndurchmesser für die Aufnahme der Isolation) eine Masse an hochwertigem Magnetwerkstoff von mehr als 100 kg erfordert.

4. Eigenschaften und Anwendung

Im Vergleich mit den anderen nichtkonventionellen Stromwandlern hat der Brückenwandler noch zwei weitere günstige Eigenschaften. An die elektronischen Verstärkerbaugruppen werden keine hohen Anforderungen hinsichtlich Bauelementeaufwand gestellt. Damit sind die Kosten des Leistungs-Operationsverstärkers relativ niedrig.

Der Brückenwandler ist somit auch für das Mittelspannungsgebiet vorteilhaft einsetzbar. Weiterhin befindet sich der Verstärker auf Erdpotential, ist damit auch während des Betriebes zugänglich. Ohne Abschaltung des unter Hochspannung stehenden Betriebsstromkreises kann die Elektronikbaueinheit gewartet bzw. im Falle eines Defektes ausgetauscht werden.

Grundsätzlich (typisch für alle Varianten von nichtkonventionellen Meßwandlern) ist jedoch zu bemerken, daß, wie Bild 2 deutlich aufzeigt, die Energie zur Betätigung der meßwertberarbeitenden Glieder des Sekundärkreises in Form von Gleichstrom-Hilfsenergie über eine elektronische Verstärkereinheit aufgebracht werden muß. Unabhängig vom Zeitwert, d.h. unbeeinflußt von einer mit Sicherheit zu erwartenden weiteren Preisdegression bei den elektronischen Bauelementen, zeigt die Kostentendenz der Verstärker in Abhängigkeit von der Ausgangsleistung, die der Bürdenleistung entspricht, einen exponentiellen Anstieg. Ein Durchbruch in der technischen Nutzung nichtkonventioneller Meßwandler ist daher erst dann zu erwarten, wenn der Leistungsbedarf der meßwertverarbeitenden Glieder, insbesondere der der Relais, drastisch sinkt, wenn die gesamte Meßwertverarbeitung weitestgehend auf elektronischer Basis erfolgt.

Außer für den Einsatz in Elektroenergieanlagen ist der Brückenwandler für viele anderweitige meßtechnische Aufgaben vorteilhaft anwendbar.

Er eignet sich sehr gut für:

- — die Summenstrommessung bei Genauigkeiten, wie sie bisher nicht üblich waren
- — für Fehlerstrom-Schutzschalter
- — als Präzisions-Stromwandler, da er sich nahezu fehlerfrei gestalten läßt und dabei als Einleiterstromwandler mit einer Impedanz nahezu Null den Stromkreis des zu messenden Objektes nicht beeinflußt
- — Eingangsbaugruppen von Schutzrelais; dort ist der Brückenwandler geeignet, die Eingangsshunts mit ihrem hohen Energieverbrauch zu ersetzen, indem er modifiziert als Strom-Spannungswandler arbeitet.
- — auch für die Spannungsmessung in Mittel- und Hochspannungssystemen; dort haben sich in Verbindung mit kapazitiven Spannungsteilern ähnlich elegante Lösungen in einer Brückenanordnung finden lassen. Neben einer bemerkenswerten Materialeinsparung zeigen sich auch hier die Vorteile der hohen Genauigkeit in der Meßwertabbildung. In Verbindung mit dem Brücken-Stromwandler ist diese Anordnung wegen des geringen Platzbedarfs sehr gut für SF_6-Schaltanlagen geeignet.

Literatur

[1] *Mouton, L.:* Non-conventional current and voltage transformers. CIGRE-Report Paris 1980 EA 5282

KDT-Fachliteratur

Galvanotechnik '82

Tagungsband 68, Ausgabe November 1982, 160 Seiten, A 5, Preis: 20,— Mark

Die Broschüre widmet sich mit 16 ausgewählten wissenschaftlich-technischen, ökonomisch- und praxisorientierten Beiträgen den Vor- und Nachbehandlungsverfahren, dem Korrosionsschutz, den Wartungs- und Instandhaltungsproblemen der Galvanotechnik und stellt Verfahren für die Herstellung lötfähiger Schichten vor.

Wir liefern direkt und kurzfristig

Kammer der Technik
Bezirksverband Suhl
Bereich Wissenschaft und Technik
6000 Suhl
Thälmannplatz 4

FACHTAGUNGEN

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMC 84)

7. Internationales Symposium in Wrocław 1984

(Seventh International Wrocław Symposium on Elektromagnetic Compatibility, EMC 84)

Das Symposium wurde in der Zeit vom 18. bis 20. Juni 1984 in Wrocław, VR Polen, durchgeführt. Es stand unter der Schirmherrschaft der polnischen Akademie der Wissenschaften und wurde vom Verband polnischer Elektroingenieure und dem Institut für Nachrichtentechnik an der TU Wrocław in Kooperation mit einer Reihe thematisch dafür zuständiger internationaler Gremien, wie URSI, CCIR, CCITT, IEC, CISPR, IARU, IEEE sowie zahlreicher nationaler wissenschaftlicher Gesellschaften und Ingenieurvereinigungen des SW und des NSW organisiert. Insgesamt ermöglichte es den fachlichen Erfahrungsaustausch zwischen 193 Teilnehmern aus 15 europäischen und 3 außereuropäischen (Japan, Kanada, USA) Staaten.

Die vom Programmkomitee ausgewählten 108 Beiträge wurden in mehreren parallelen Sitzungsreihen diskutiert. Eine von drei polnischen, eines DDR-Betriebes und einer BRD-Firma beschickte Ausstellung sowie drei workshops zu speziellen Fragen der Störungsmeß- und Simulationstechnik ergänzten in vorteilhafter Weise das Veranstaltungsprogramm.

Inhaltlich bot das Symposium ein breit gefächertes Spektrum von Themengruppen, deren Objektbereich von Detailuntersuchungen bestimmter Seiten der elektromagnetischen Umgebung über elektromagnetisch-biologische Verträglichkeitsprobleme bis hin zu Fragen der EMC in der Unterhaltungselektronik und im Amateurfunkwesen reichten. Schwerpunktmäßig bezog sich jedoch der Hauptteil der Beiträge auf die EMC-Problematik im Bereich der drahtlosen und der drahtgebundenen Nachrichtentechnik. Beiträge mit direktem Bezug zu Verträglichkeitsproblemen in der industriellen Automatisierungstechnik waren nur relativ wenige vertreten.

Im einzelnen wurde zu folgenden Themenkomplexen referiert: Elektromagnetische Umwelt/EMC-Meßtechnik/Spektrum-Management/Aktive EMC-Leitungsmodelle/EMC und Biologie/Mobile Radio-Kommunikation/Ausbreitung von Rundfunkwellen/EMC und drahtgebundene Nachrichtentechnik/Statistische Konzepte/Blitzentladungen und daran geknüpfte EMC-Probleme/Elektromagnetische Verträglichkeit in Rundfunk- und Fernsehsystemen/Elektromagnetische Felder und verwandte Probleme/Elektromagnetische Störquellen/Immunität gegen Störbeeinflussungen/Antennen/Modellierungstechniken/EMC und Funkamateurwesen.

Speziell für die Kraftwerkstechnik, die Blitzschutztechnik und die Elektroautomagnetisierungstechnik waren daraus die folgenden Beiträge interessant:

- *A. Sowa* (VR Polen): Transiente Beeinflussungsspannungen in Datenübertragungs- und Steuerungssystemen innerhalb großer Industriebauten bei Blitzeinschlag
- *J. P. Bruhin* (Schweiz): Die Schirmungseigenschaften von Stahlbetonwänden gegen elektromagnetische Wellen (mit LEMP- und NEMP-Charakter)
- *J. S. Chang* (Kanada): Der Einfluß elektromagnetischer Felder und Pulse auf kochende leitende und nichtleitende Flüssigkeiten in den Kühlmittelkreisläufen von thermischen und Kernkraftwerken
- *P. Vaculikova;* u.a. (ČSSR): Störschutzmaßnahmen in Industrienetzen mit statischen Umrichtern (Maßnahmen gegen Stromrichternetzrückwirkungen im Frequenzbereich von 10 kHz···30 MHz).

Das ausführliche Tagungsmaterial liegt an der TU Dresden, Sektion Elektrotechnik, vor.

E. Habiger, Dresden EA 1771

Automatisierung und Steuerung von Energieverteilungsnetzen

II. Konferenz in Tabor (ČSSR) 1984

Nachdem 1978 in Česky Krumlov die I. Konferenz zu Problemen der Automatisierung und Steuerung von Verteilungsnetzen und 1982 in Pec pod Snezkou eine analoge Konferenz mit dem Schwerpunkt Erzeugung und Übertragung stattfanden, war die Konferenz vom 12. bis 14. Juni 1984 in Tabor abermals den Verteilungsnetzen gewidmet. 190 Teilnehmer aus der ČSSR diskutierten mit 26 Gästen aus 8 Ländern Europas die vorgestellten 37 Beiträge, die in 2 Sammelbänden gedruckt vorlagen. Konferenzsprache war Tschechisch und Deutsch und es wurde simultan in diese beiden Sprachen sowie ins Russische übersetzt. Die Beiträge der ČSSR liegen in Tschechisch mit Kurzfassungen in Deutsch, Englisch und Russisch und die aus den anderen Ländern meist in Deutsch, vereinzelt in Russisch oder Englisch vor. Wie aus der anschließenden Titelliste hervorgeht, wurden insbesondere die Entwicklung von Automatisierungseinrichtungen in Umspannwerken oder Netzleitstellen auf mikroelektronischer Basis bzw. bei Einsatz von Mikrorechnern zur Steuerung der Mittelspannungsnetze dezentral oder zentral einschließlich der Steuerung der Verbraucher mit dem Ziel einer unterbrechungslosen Elektroenergieversorgung vorgestellt.

Konferenzbeiträge

K. Procházka; F. Mejta; J. Zgút (ČSSR): Gegenwärtiger Zustand und Perspektiven der Automatisierung von 110-kV- und Mittelspannungsverteilsystemen

F. Dobsik; V. Krauer (ČSSR): Neuartiges System der Sekundärtechnik von Mittelspannungsverteilern Typ „SYSTOR"

P. Dohnálek (ČSSR): Neue Schutzeinrichtungen von ZPA Trutnov

H. Ungrad; J. Kopainsky (Schweiz): Leittechnik in Unterstation

H. P. Weiss; B. Sander; R. Markulin (Schweiz): Automatisierung von Energieübertragungs- und Verteilstationen mit dem speicherprogrammierbaren Prozeßleitsystem PROCONTROL P

P. Kostohryz (ČSSR): Entwicklung der Steuerungssysteme von Verteilsystemen in der ČSSR

Z. Vales; J. Barták; J. Buchek (ČSSR): Praktischer Entwurf der Elektroenergieabnahmesteuerung mit Einsatz von 110-kV-Rundsteuersendern

V. Böhm (ČSSR): Kommunikationssubsystem des Dispatchers von regionalen Lastverteilungsstellen im automatisierten System der Dispatchersteuerung

R. Scherl (BRD): Ein regionales Netzleitsystem

H. L. Schuck (BRD): Rechnergestützte Führung eines städtischen Stromversorgungsnetzes

T. Bendes (Ungarische VR): Schutz und Automatik der ungarischen Verteilungsnetze

G. Danyek; D. György; L. Valaska (Ungarische VR): Neuartiges mikrorechnergestütztes Meß- und Regelsystem

N. Stojanov; L. Jocov (VR Bulgarien): Algorithmen der mikroprozessorgestützten Fehlererfassung in elektroenergetischen Systemen

H. Bauer; H. Ambrosch; D. Dreßler; H.-P. Czybik (DDR): Betriebsführung von Schaltanlagen bei Nutzung von Mikrorechnern und Lichtwellenleitern

E. M. Klein (BRD): Netzleitanlage für ein regionales Versorgungsunternehmen im niederrheinischen Raum

V. Maletinsky; G. Schaffer (Schweiz): Anwendung der Leittechnik in elektrischen Verteilnetzen

H. Jarosczinsky (DDR): Rechnergestützte Betriebsführung in Dispatcherpunkten zur Steuerung, Regelung und Überwachung von 110 kV-Verteilungsnetzen

T. Halawa; A. R. Giebultowicz (VR Polen): Technische Mittel für die Betriebsführung der Verteilungsnetze im polnischen Elektroenergiesystem

M. Neveselý (ČSSR): Beitrag von ORGREZ zur Lösung der Automatisierung von Verteilungssystemen

M. Majerik; V. Blaha (ČSSR): Anwendung der Mikrorechnersysteme in der Lastverteilungssteuerung

M. Kezunovic (SFR Jugoslawien): Entwicklung und Aussichten bei der Verwendung von Mikroprozessoren bei Steuerung und Schutz von elektrischen Verteilungsnetzen

G. Kadner; A. Höfer (DDR): Überwachung der Belastung von Großtransformatoren mittels Mikrorechner

N. Zlatoustov; u.a. (VR Bulgarien): Vollständige statische Relaisschutzeinrichtungen und Automatiken für 6 – 35 kV-Netze

N. Brizicki; N. Zavernajeva; I. Chalacev (VR Bulgarien): Schutzrelais und Automatiken unter den Bedingungen einer komplizierten Konfiguration des 110-kV-Netzes im bulgarischen Elektroenergiesystem

M. Kezunovic; S. Kreso (SFR Jugoslawien): Mikrorechnergestützte Lösungen von Distanzrelais

J. Wroblewski; P. Szostakowski (VR Polen): Das unabhängige Überstromrelais (Typ ODR – 2 W) mit Energiespeicher zur Auslösung zweier Leistungsschalter

O. Toufar; Z. Danek; F. Mejta; K. Procházka (ČSSR): Probleme und Kriterien beim Entwurf regionaler automatischer Frequenzentlastung

Z. Zielinski (VR Polen): Möglichkeiten der Ausnutzung des Rundfunknetzes zur Steuerung im Elektroenergiesystem

N. Mahnert; G. Thämelt (DDR): Einsatz von Mikrorechnern ursadat 5000 in vereinfachten 110-kV-Umspannwerken am Beispiel des Erstanwendungsvorhabens

Z. Pawula (VR Polen): Arbeiten von Energoprojekt Poznan zur Automatisierung und Steuerung von Verteilungsnetzen

G. Bartodziej (VR Polen): Neue rationelle Gestaltung von Mittelspannungsverteilungsanlagen

Z. Pilch; W. Winkler (VR Polen): Schutz und Automatisierungskriterien für industrielle Verteilstationen mit Eigenerzeugung

J. Luska (ČSSR): Elektronische Fernsteuerungseinrichtung

V. Král (ČSSR): Terminal für Dispatcherkommunikation mit dem automatisierten System der Dispatchersteuerung

J. Birner (ČSSR): Anwendung des SM 4/20-Rechners in automatisierten Steuerungssystemen der regionalen Lastverteilung

J. Bizik; u.a. (ČSSR): Steuerung des Elektroenergieverbrauchs

V. Bouse (ČSSR): Bezichungen zwischen dem Lieferanten und dem Großabnehmer von Elektroenergie aus der Sicht der Optimierung zum Entwurf des Verteilungsnetzes des Großabnehmers.

H. Pundt, Dresden EA 1770

Perspektive der elektrischen Antriebstechnik

KARL-MARX-STADT TH

110. Sektionskolloquium Automatisierungstechnik der TH Karl-Marx-Stadt

Als Referenten zu dieser Thematik begrüßte der Direktor der Sektion Automatisierungstechnik das Mitglied des Forschungsrates, Herrn Dipl.-Ing. *Helmut Kabisch,* Bereichsleiter Forschung und Entwicklung des VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin, an der Technischen Hochschule Karl-Marx-Stadt.

Ausgehend von den Automatisierungszielen im prozeßnahen Bereich
— hoher Materialdurchsatz
— große Genauigkeit
— energieökonomische Lösung
formulierte der Vortragende zunächst die wesentlichsten Anforderungen an drehzahlgeregelte elektrische Antriebe und erläuterte einige Einflußfaktoren und Auswirkungen:

1. Verfügbarkeit
— Zuverlässigkeit
— Diagnose
— Reparierbarkeit
— gefährliche Betriebszustände.

Der Ausfall eines einzelnen Elementes kann bereits zum Ausfall einer umfangreichen Betriebsanlage führen, womit die Bedeutung dieser Anforderung unterstrichen wird.

2. Prozeßanpassung
— funktionell
— konstruktiv.

Der Übergang auf die modernste Bedientechnik ist unerläßlich. Die konstruktiven Probleme, die aus den Forderungen der Umweltbedingungen resultieren, müssen umgehend gelöst werden.

3. Einsatzbreite
— Flexibilität der Komponenten
— Sonderlösungen.

Die realen Bedingungen entscheiden im konkreten Fall über die Frage der Prozeßflexibilität oder Prozeßspezifik.

4. Aufwandsminimierung
— Material
— Arbeitszeit
— Fertigung
— Entwurf/Konstruktion.

Für die nachfolgend aufgeführten Anwendungsgebiete wurden bezüglich der Antriebstechnik Trendeinschätzungen mit Abgrenzung bestimmter als typisch anzusehender Leistungsbereiche genannt:
— Werkzeugmaschinen-Hauptantriebe;
— Gleichlaufantriebe (Textiltechnik/Walzwerksanlagen)
— Pumpen und Ventilatoren;
— Hauptantriebe (Walzwerke/Zementanlagen)
— Traktion.

Hierbei kamen neben Transistor- und Thyristor-Stellern sowie Direktumrichtern auch die untersynchrone Kaskade und Spannungsumschaltung zur Sprache.

Aus den Erkenntnissen heraus formulierte Koll. *Kabisch* Empfehlungen für Schwerpunkte künftiger Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der drehzahlgeregelten elektrischen Antriebe. Ein besonderes Augenmerk wurde bei den Ausführungen der zunehmenden Bedeutung und notwendigen Durchsetzung der Mikroelektronik gewidmet und auf die Probleme der Optimierung, Simulation und Dimensionierung unter Einbeziehung von CAD/CAM hingewiesen. Diese Problematik erläuterte der Referent an einem beispielhaften System mit vier Ebenen:
— Leitebene
— Funktionsgruppensteuerebene
— Antriebssteuer- und Leistungsstellebene
— Prozeßebene.

Abschließend stellte er die Eigenschaften verschiedener Thyristorarten gegenüber und gab die Grenzen ihrer Anwendung an.

G. Tippmann, Karl-Marx-Stadt EA 1761

Kabel und Leitungen in elektrischen Anlagen

Fachtagung im Juni 1984 in Magdeburg

Wesentliches Anliegen der Tagung, die am 21. Juni 1984 in der Magdeburger Stadthalle durchgeführt wurde, war, über Probleme der Herstellung und Anwendung von Leitern aus kupferplatiniertem Aluminium und aus der Aluminiumlegierung AlFeMg-E zu informieren.

Ing. *Bittrich* vom KWO Berlin erläuterte die Fertigung von Verbundleitern. Dazu gehören als wichtigste Stufen die Ummantelung eines Al-Leiters mit einer sehr dünnen Cu-Folie, das Längsschweißen der Cu-Folie und der anschließende Ziehprozeß.

Die Eigenschaften des so entstandenen Leiters werden vor allem durch die Leiteigenschaften des Al sowie durch die guten Kontakteigenschaften des Cu-Mantels beim Klemmen des Leiters bestimmt. Von seiten des KWO wurde berichtet, daß die Korrosionsprüfung, u.a. in Salznebelatmosphäre, bestanden wurde. Zur mechanischen Prüfung gehört das fünfmalige Umwickeln des Leiters um seinen eigenen Durchmesser, wobei keine Anrisse in der Cu-Oberfläche eintreten dürfen. Vom KWO werden unter anderem Plastkabel NAAYY-I, 3- bis 9-adrig, und Schaltdraht N2AY mit Verbundleiter hergestellt. Mit der Substitution von Cu-Leitern durch Al-Cu-Leiter beschäftigte sich der Vortrag von Ing. *Schamoschinsky*, ebenfalls Mitarbeiter des KWO. Diese Substitution ist immer dann vorzunehmen, wenn Errichtungs- oder Erzeugnisstandards nicht zwingend den Einsatz von Cu-Leitern vorschreiben. Verschiedene Standards wurden hinsichtlich des Einsatzes von Al-Cu-Leitern überprüft. Es wurde unter anderem in TGL 200-0621 festgelegt, daß zwar für die Gefährdungsgruppen EG 1 und EG 2 weiterhin Cu gefordert, für die Gefährdungsgruppen EG 3 und EG 4 ab 1. 8. 1984 aber Al-Cu-Leiter zugelassen sind.

Dr. *Merkel* und Dr. *Jancu* von der TH Leipzig gaben in ihrem Vortrag einen Überblick über die Anwendung und die Verbindungstechniken von Al-Cu-Verbundleitern und der Al-Legierung AlFeMg-E. Es wurde der Zusammenhang zwischen Kontaktübergangswiderstand und Klemmkräften dargestellt. Daraus ergibt sich die Forderung, daß die Kontaktkräfte grundsätzlich deutlich höher als die im Standard festgelegten Mindestkräfte einzustellen sind.

Die Anwendung der neuen Leiterwerkstoffe auf Basis der Legierung AlFeMg-E hat sich in der Praxis bereits bei Sammelschienen bewährt. Die mechanischen Eigenschaften dieses Werkstoffs bieten auch die Möglichkeit der Herstellung flexibler Leiter. Eine Beratungsstelle für Probleme der Anwendung der neuen Leiterwerkstoffe befindet sich an der TH Leipzig und wird von Dr. *Jancu* geleitet. Dipl.-Ing. *Bichler* stellte das neue Installationssystem des VEB Elektroinstallation Sondershausen mit seinen erweiterten Kombinations- und Anschlußmöglichkeiten vor. Für die praktische Anwendung der Al-Cu-Verbundleiter ergab sich aus den Vorträgen und Diskussionen, daß bei mechanischem Abisolieren eine Beschädigung des Cu-Mantels mit Sicherheit verhindert werden muß. Das thermische Abisolieren kann diese Forderung erfüllen.

D. Kroll; K. Riemekasten; Magdeburg EA 1772

ZEITSCHRIFTEN

Die 1500-kV-Gleichstromübertragung Ekibastus — Zentrum

Posse, A. V., u.a.: Električeskije stancii (1983) 2, S. 45—49

Das Projekt der 1500-kV-Gleichstromübertragung von dem Kohlerevier Ekibastus in das Industriezentrum um Moskau ist erstellt, und alle detaillierten technischen Lösungen sind im Prüffeld erprobt worden, so daß in der nächsten Zeit mit dem Bau begonnen werden kann. Die Leitung wird eine Länge von 2414 km haben. Sie ist damit nur um 5% länger als die Luftlinie zwischen Ekibastus und der Stadt Tambow. Die Gleichstromleitung hat eine Nenndurchlaßfähigkeit von 6000 MW bei einer Spannung beider Pole zur Erde von 750 kV. Nach Länge und Spannungsebene wird sie die größte Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ) der Welt sein.

Als wichtigste Neuerung ist die parallele Schaltung der Umformer beider Pole anzusehen, die ein gleichzeitiges Ein- bzw. Ausschalten an einem Leitungsende gewährleistet. Diese konstruktive Ausführung vermeidet die bisher gebräuchliche Schaltung über mehrere Kaskadenstufen, vereinfacht damit die Betriebsführung entscheidend und ist auch billiger. Die Thyristoren erhalten ihre Steuersignale über Lichtleiter. Für Reparaturarbeiten an einem Pol ist der Leitungsbetrieb mit nur einem Pol bei dem Stromrückfluß durch die Erde möglich. Hierfür wurden die langjährigen Betriebserfahrungen mit der HGÜ Wolgograd — Donbass breit ausgenutzt. Es finden Pfahlmasten mit Abspannseilen bei einem mittleren Mastabstand von 400 m Verwendung. Jeder Pol besteht aus 5 Leitern mit einem Leiterquerschnitt von 1200 mm² Aluminium und 67 mm² Stahl, die auf dem Fünfeckumfang einen Abstand von 600 mm haben, und ist an zwei Glasisolatoren von 9,1 m Länge aufgehängt. Diese Konstruktion begrenzt die Übertragungs- und Koronaverluste auf maximal 6%. Im Vergleich mit der 1150-kV-Wechselstromleitung Ekibastus — Ural ungefähr gleicher Durchlaßfähigkeit (5500 MW) sind die spezifischen Investkosten um 20% niedriger, hauptsächlich wegen der nur halb so schweren Masten. Aus ökologischen Gesichtspunkten (elektrische Feldstärke) kann auch die Höhe der HGÜ-Masten geringer gehalten werden. Hierbei sollte noch berücksichtigt werden, daß die Durchlaßfähigkeit der HGÜ eineinhalbmal größer ist als ihre Nennleistung, die ja bei Wechselstromleitungen nahezu identisch sind. Der größte Blindleistungsverbrauch der Umformer erfordert die Aufstellung von vier Synchronphasenschiebern zu je 320 Mvar und vier Kondensatorbatterien zu je 650 Mvar in Tambow. Die Umformer in Ekibastus erhalten ihre Blindleistung von den Generatoren des Kraftwerkes und von den beiden Filtern, die dort 2×175 Mvar erzeugen. Die beiden Filter in Tambow erzeugen 2×140 Mvar. Mit Hilfe der HGÜ Ekibastus — Tambow kann der Zwischensystemeffekt sehr gut ausgenützt werden, da sie drei Zeitzonen durchquert. Sehr vorteilhaft ist außerdem die große Überlastbarkeit, die von der jeweiligen Netzsituation unabhängige Leistungsflußregel-

barkeit und die enorme Regelgeschwindigkeit der HGÜ. Innerhalb einer 50-Hz-Periode (0,02 s) kann die Leistung durch die HGÜ um 150 MW erhöht oder gesenkt werden.
Durch schnelle Entlastung von parallelen Wechselstromleitungen mittels der HGÜ kann man ihren Stabilitätsverlust vermeiden. Solche limitierten und teuren Antihavariemaßnahmen wie Erzeuger- und Verbraucherabschaltungen können mit Hilfe der HGÜ stark verringert werden. Sehr große Bedeutung hat die HGÜ Ekibastus – Zentrum für die Absicherung des Grundlastregimes der im europäischen Teil der UdSSR angesiedelten Kernkraftwerke.
E. Broßmann, Berlin EA 1499

Neue Elektroisolations-Schichtpreßstoffe

Dulizkaja, G. M.; Zinin, E. F.; Chajikina, A. E.: Elektrotechnika, Moskau (1983) 6, S. 8–9

Neben relativ neuen Schichtpreßstoffen, wie Glasfaserhartgewebe, die in immer größerem Umfang verwendet werden, finden bis heute aber auch die herkömmlichen Schichtpreßstoffe, wie Getinax auf der Basis von Zellstoffpapier und Textolit (Hartgewebe) auf der Basis von Baumwollstoffen, eine breite Anwendung.
Für die Herstellung von Textolit wird der sehr knappe Baumwollstoff benötigt. Deshalb wurden neue Arten von Schichtpreßstoffen entwickelt, die auf der Basis von synthetischen Faser-Füllstoffen (Papier, Stoff, gesteppte und gewirkte Stoffe) aufgebaut sind. Diese neuen Schichtpreßstoffe haben physikalisch-mechanische und elektrische Eigenschaften, die es ermöglichen, Textolit in vielen Fällen zu ersetzen.
Für die spanlose Formgebung (Pressen, Stanzen) von Isolationsteilen mit komplizierter Kontur wird Getinax H (Tafel 1) verwendet. Dieses wird in Platten bis 2,5 mm hergestellt und soll Textolit ersetzen. Getinax H steht bezüglich der spanlosen Formung (ohne oder mit geringfügiger Erwärmung, etwa 60 bis 70°C) dem Textolit nicht nach und ist außerdem billiger. Zu den perspektivischen plattenförmigen Plasten gehört auch Getinax auf der Grundlage von Lawsonia-Papier. In bezug auf die mechanischen Eigenschaften sowie die Festigkeit gegen Abrieb und die mechanische Bearbeitung (eingeschlossen die spanlose Formung) kann das Lawsonia-Getinax der Marke LG mit Textolit auf der Basis von Baumwollgewebe konkurrieren: Hinsichtlich der elektrischen Eigenschaften und der Feuchtigkeitsbeständigkeit übertrifft es aber nicht nur das Textolit, sondern zum größten Teil auch die bekannten Schichtpreßstoffe auf der Grundlage von Glasfasergeweben (Tafel 1). In diesem Zusammenhang empfiehlt sich Lawsonia-Getinax für Anwendungsfälle mit hohen Spannungen und auch für erhöhte Feuchtigkeit und Temperatur, einschließlich des Einsatzes unter feuchttropischen Klimaverhältnissen.
Es werden auch plattenförmige Plaste auf der Grundlage nicht verwebter Glasfaser-Füllstoffe in der Art von Papier und Leinwand hergestellt (glasfaserverstärktes Getinax). Wie auch andere Arten von glasfaserverstärkten Plasten zeichnet sich glasfaserverstärktes Getinax durch seine Wärmefestigkeit, Feuchtigkeitsbeständigkeit und hochwertigen elektrischen Eigenschaften aus (Tafel 1).
Seine mechanischen Eigenschaften sind ebenfalls deutlich besser im Vergleich mit gewöhnlichem Textolit und Getinax auf der Grundlage von Zellulosefasern.
Für die Herstellung von Nutkeilen hat sich die Verwendung von Profilen aus glasfaserverstärkten Plasten als günstig erwiesen, da die Profile mit dem Querschnitt der fertigen Keile hergestellt werden können. Die Elektroindustrie produziert ein breites Sortiment von Profilkeilen für Betriebstemperaturen bis 180°C.
Der rechtzeitige und technisch begründete Übergang zur Anwendung neuer Arten von Plasten für die Elektroisolation gestattet die Einsparung von Millionen Metern Baumwollgeweben im Bereich der industriellen Verwendung und bringt gleichzeitig eine Erhöhung der Effektivität und Zuverlässigkeit der elektrischen Maschinen und Geräte.
W. Knuth, Berlin EA 1589

Tafel 1. Kenndaten von Schichtpreßstoffen

Kenngröße	Maßeinheit	Marke des Schichtpreßstoffs: Getinax H	Lawsonia-Getinax LG	glasfaserverstärktes Getinax SGEF	glasfaserverstärktes Textolit STEF	Textolit A, B	Texolit B Tsch
Dichte	kg/cm³	1,30 bis 1,40	1,24 bis 1,28	1,70 bis 1,85	1,75 bis 1,90	1,30 bis 1,45	1,30 bis 1,45
Zulässige Langzeit-Arbeitstemperatur	°C	120	150	150	150	105	105
Bruchfestigkeit bei statischer Biegebeanspruchung	MPa	90 bis 110	90 bis 130	100 bis 150	320 bis 350	90 bis 100	100 bis 120
Kerbschlagzähigkeit vertikal zur Schicht für plattenförmiges Material, 6 mm dick	KJ/m²	20	50	40	70	30	30
Formbeständigkeit nach *Martens*	°C	150	130	200	200	160	160
Wasseraufnahme (für 1 mm dicke Platten)	%	3,0 bis 4,0	0,03 bis 0,05	0,6 bis 0,8	0,035 bis 0,05	6,0 bis 9,0	7,0
Spez. elektrischer Raum-Widerstand	Ω · cm	10^{12}	10^{13}	10^{12}	10^{13}	10^{12}	10^{12}
– Neuzustand		10^{8}	10^{12}	10^{12}	10^{12}	10^{8}	10^{8}
– nach 24 h Feuchtigkeitsaufnahme bei 20°C, φ = 98 %							
– nach 4 Tagen bei 40°C, φ = 98 %		10^{7}	10^{11}	10^{10}	10^{10}	10^{60}	10^{7}
Isolationswiderstand	Ω						
– Neuzustand		10^{12}	10^{12}	10^{12}	10^{12}	10^{11}	10^{11}
– nach 4 Tagen bei 40°C, φ = 98 %		10^{8}	10^{10-11}	10^{9}	10^{9-10}	10^{6}	10^{6}
Elektrische Festigkeit, vertikal zur Schicht	kV/mm	20	30	25	25	6	8
Stanzbarkeit ohne Erwärmung		6	6	5	5[1])	6[1])	6[1])

[1]) Mit Erwärmung bis 65 ± 2°C

Betriebserfahrungen mit Leistungstransformatoren

Leonidova, N. B.; Mahlin, B. Û.: Energochosjaistvo sa rubeshom (1983) 5, S. 1–5

Die ständige Steigerung der Transformatoreinheitsleistung erfordert einen höheren Kontroll- und Reparaturaufwand zwecks Verlustminimierung infolge technischer Defekte. Die Kontrollzyklen sind in den einzelnen Ländern unterschiedlich von 1 bis 3 Jahren reglementiert. Große Aufmerksamkeit wird der Reinheit und Durchschlagsfestigkeit des Trafoöls gewidmet. Man steht allgemein auf dem Standpunkt, daß man ohne gaschromatographische Untersuchungen in einem zweijährigen Zyklus für Blocktransformatoren und fünfjährigen für Netztransformatoren kein ausreichendes Zustandsbild des Transformators erhalten kann. Anderseits verweisen die weltweiten Trafobetriebserfahrungen auf die Unmöglichkeit, ein universelles Kriterium für die technische Zustandseinschätzung ausschließlich auf der Basis der Gaschromatographie zu erhalten. Als Zusatzkriterien sollten vorerst neben den traditionellen Prüfmethoden das Betriebsregime und die Erfahrungen mit Transformatoren gleicher Konstruktion berücksichtigt werden. Die Ultraschallmethode zur Registrierung von Teilentladungen in der Isolation zwecks Kontrolle der Alterung ist sehr empfindlich gegenüber äußeren Störeinflüssen und außerdem sehr teuer.
In Frankreich konnten bei der kombinierten Anwendung von Gaschromatographie und Schalldiagnostik 22 Transformatoren mit schweren Schäden ermittelt werden. Die internationalen Erfahrungen bestätigen, daß weiterhin den Stufenschaltern, Durchführungen und Kühlsystemen ein erhöhter Kontroll- und Revisionsaufwand gewidmet werden muß.
E. Broßmann, Berlin EA 1726

Elektroenergiespeicher

Astachov, Ju. N.; Venikov, V. A.; Ivanov, A. M.; u.a.: Električestvo (1983) 4, S. 1–7

Die Praxis der Betriebsführung von Elektroenergiesystemen zeigt, daß eine ununterbrochene und sichere Versorgung nur durch entsprechend große Elektroenergiespeicher zu sichern ist. Außerdem bewirkt das Laderegime in Schwachlastzeiten und das Entladeregime in der Spitzenlast der Energiespeicher eine ökonomische Fahrweise des gesamten Systems. Man unterscheidet fol-

Tafel 1

Energiespeichertyp	Voraussichtliche Inbetriebnahme	Wirtschaftliche Leistung oder Kapazität	Spezifische Investitionskosten für 1 kWh[1])	Wirkungsgrad % (Speicherzeitraum)
Pumpspeicherwerk	existiert	200-4000 MW	1[1])	65-75 (unbegrenzt)
Druckluftspeicher	existiert	200-1000 MW	1,05 – 1,33	70 (unbegrenzt)
Wärmespeicher	nach 1985	50-200 MW	1,65	65-75 (begrenzt)
Bleiakkumulator	nach 1985	20 – 50 MWh	0,78 – 0,83	60 – 75 (begrenzt)
Neuartige Akkumulatoren	1985 – 2000	20 – 50 MWh	0,5 – 0,67	70 – 80 (begrenzt)
Schwungradspeicher	1985 – 2000	10 – 50 MWh	0,83 – 1	70 – 85 (begrenzt)
Wasserstoff	1985 – 2000	20 – 50 MW	3,45 – 4,45	20 – 40 (unbegrenzt)
Supraleitender elektromagnetischer Speicher	1990 – 2000	bis 4000 MWh	1,1 – 1,5	75 – 90 (begrenzt)
Moderne Kondensatorbatterien	1985 – 2000	1 – 1000 MWh 0,1 – 1000 MW	0,87 – 1,2	bis 85 (begrenzt)

[1]) bezogen auf Pumpspeicherwerke

gende grundsätzliche Arten von Energiespeichern: mechanische (potentielle und kinetische Energie), elektrostatische, elektromagnetische, chemische und Wärmespeicher. Als die vorteilhaftesten und aussichtsreichsten werden Speicher auf der Basis von Kondensatorenbatterien angesehen. Ein moderner Energiespeicher soll folgende Aufgaben lösen: Abdeckung plötzlicher Verbraucheranstiege im System, Spannungshaltung in den naheliegenden Netzknoten, Verbesserung der statischen und dynamischen Stabilität und Regulierung des Elektroenergieaustausches (Saldo) mit benachbarten Energiesystemen. In der Tafel 1 sind die wichtigsten Typen von Energiespeichern mit ihren Charakteristiken dargestellt.

E. Broßmann, Berlin EA 1578

Optimale Elektroenergieversorgung von Städten

Glasunov, A. A.; Kusnecowa, T. A.; Fedosejev, A. A.: Električestvo (1983) 2, S. 20 bis 25

Mit der Vergrößerung der Städte und ihres spezifischen Elektroenergieverbrauchs je Flächeneinheit wächst die Bedeutung der verlustarmen Hochspannungseinspeisung (110 kV und höher) direkt bis ins Zentrum der Stadt. Es existieren hierfür zwei Grundschemen:

1. Das Radialschema mit einem Hochspannungsleitungsring um die Stadt, von dessen Schaltanlagen bzw. Umspannwerken Hochspannungskabel in Richtung Zentrum abgehen. 2. Das Magistralschema mit einer Hochspannungskabeltrasse von dem Zentralumspannwerk am Stadtrand. Aus Gründen des Umweltschutzes (elektrische Feldstärken) werden Hochspannungsfreileitungen im Stadtgebiet nicht mehr errichtet, sondern nur noch Hochspannungskabel eingesetzt. Für die Umspannwerke auf den Versorgungsspannungsebenen 20 oder 10 kV sind geschlossene und SF_6-isolierte Anlagen aus Platzgründen vorgesehen. Aus ökonomischen Gründen sollte die Spannung der Hochspannungskabel in der Stadt gleich der Spannung der äußeren Freileitungen sein.

Die Hochspannungsversorgung einer Stadt mit Radialschema wird ab der Spannungsebene 110 kV sinnvoll, wenn der spezifische Elektroenergieverbrauch über 5 MW/km² liegt und die Stadt einen „Radius" von 5 bis 15 km hat. Die 220-kV-Hochspannungsversorgung durch Radialnetz ist bei einem spezifischen Verbrauch von 20 bis 25 MW/km² und einem Stadtradius von über 10 bis 15 km aus technisch-ökonomischen Gründen angebracht. Das Magistralschema mit zwei Umspannwerken in der Stadt und einem Zentralumspannwerk außerhalb des Stadtgebietes wird bei einer Spannung von 220 kV, einer spezifischen Mindestlast von 20 bis 30 MW/km² und einem Stadtradius von über 15 km ökonomisch sinnvoll.

E. Broßmann, Berlin EA 1574

Die Elektroenergetik Japans

Butin, G. D.; Jerševitš, V. V.: Energochosjaistvo sa rubeshom (1983) 2, S. 1 – 6

Seit 1965 nimmt Japan stabil den dritten Platz in der Welt auf dem Gebiet der Elektroenergieerzeugung und der installierten Kraftwerksleistung ein. In Japan gibt es heute 9 Elektroenergieunternehmen. 1980 hatte Japan eine installierte Kraftwerksleistung von 137900 MW, davon Wärmekraftwerke 94500 MW, Kernkraftwerke 15100 MW und Wasserkraftwerke/Pumpspeicherwerke 28300 MW. Die Kernkraftwerke sollen mit 46000 MW im Jahre 1990 einen Leistungsanteil von 22,5% erreichen. In den letzten fünf Jahren wuchs die Kraftwerksleistung um 32,3% bei einem Bedarfszuwachs von 20%, womit die Reserveleistung auf 24,9% anwuchs. Das größte Kernkraftwerk Fukushima 1 hat eine Leistung von 4696 MW (1×460, 4×784, 1×1100 MW). Das größte Wärmekraftwerk hat eine Leistung von 4400 MW, und die größte Blockleistung beträgt auf diesem Sektor 1000 MW. Eine bedeutende Leistungsschnellreserve schuf man sich mit den 9100 MW der Pumpspeicherwerke. Im Jahre 1990 sollen 5% der Elektroenergieerzeugung von Japan auf Sonnen-, Wind- und Geothermalkraftwerke entfallen.

1979/80 konnten in Japan die wichtigsten Etappen der Gründung eines einheitlichen Elektroenergiesystems abgeschlossen werden. Die beiden unterschiedlichen Frequenzzonen mit 50 Hz und 60 Hz wurden mit Hilfe zweier Gleichstromkurzkupplungen vereinigt. Das systembildende 500-kV-Netz verbindet jetzt die unterschiedlichen untergeordneten Spannungsebenen in den einzelnen Energiegesellschaften von 187, 220 und 275 kV. In Japan ist eine 500-kV-Leitung mit einer thermischen Durchlaßfähigkeit von 6000 MW in Betrieb. Alle vier Hauptinseln Japans sind mit leistungsfähigen Hochspannungskabeln durch die Meerengen zum Verbundbetrieb gekoppelt.

E. Broßmann, Berlin EA 1576

Probleme bei der Bildung eines einheitlichen Elektroenergiesystems der USA

Luginskii, J. N.; Semenov, V. A.: Energochosjaistvo sa rubeshom (1983) 2, S. 46 bis 48

Heute sind in den USA drei isoliert arbeitende Elektroenergiesysteme in Betrieb: 1. Nordosten der USA und Südosten Kanadas mit einer installierten Kraftwerksleistung von 450000 MW; 2. Westen der USA und Südwesten Kanadas mit 100000 MW und 3. Texas mit 45000 MW Kraftwerksleistung. Nach Meinung der amerikanischen Spezialisten ist der Inselbetrieb von Texas ökonomischer, und der Verbundbetrieb des Ost- und Westsystems ist wegen fehlender leistungsstarker Verbindungsleitungen nicht möglich. 1978/79 wurde auf Anregung des Senats die Problematik des einheitlichen Elektroenergiesystems der USA nach dem Erdölembargo 1973/74, Orkan 1974, Bergarbeiterstreik 1977/78, außergewöhnlich kalten Winter 1978/79 und der Kernkraftwerkshavarie 1979 in Three Mile Island, die alle mit Verbraucherabschaltungen und beträchtlichen Schäden verbunden waren, in Angriff genommen. Die Untersuchungskommission kam zu der Schlußfolgerung, daß eine Verbindung des Ost- und Westsystems durch 765-kV-Hochspannungsleitungen nicht sinnvoll ist, weil der erzielte Zwischensystemeffekt auf Grund der ausreichend großen Leistungsreserven unbedeutend ist. In dem verflossenen Zeitraum hat sich der Konflikt zwischen der aus vielen Gesichtspunkten günstigen Systemkopplung auf der einen Seite und der Einschränkung der Rolle des Staates in der Energetik im Zuge der Reaganpolitik auf der anderen Seite verschärft. Trotz aller entstandenen staatlichen Hindernisse wurde 1982 beschlossen, Texas mit Hilfe einer Gleichstromkurzkupplung mit den Energiesystemen der Staaten Oklahoma und Louisiana zu verbinden. 1983 geht eine Gleichstromkurzkupplung in Mails City (Montana) mit einer Leistung von 200 MW in Betrieb. Außerdem befindet sich eine leistungsstarke Gleichstromkurzkupplung zwischen den Energiesystemen Hydro-Quebec und New York im Projektstadium.

E. Broßmann, Berlin EA 1577

Auge für Leistungsthyristor

Böttger, H.-J.: Elektronik (1984) 3, S. 14

Im Forschungszentrum von General Electric wurde ein winziger lichtempfindlicher Thyristor entwickelt, der sozusagen „huckepack" auf herkömmliche Leistungsthyristoren auf gesetzt werden kann und als Zündthyristor fungiert.

Der „kleine" Thyristor schaltet mit großem du/dt die wesentlich größeren Leistungsthyristoren. Er wird durch konzentrierte Lichtimpulse aktiviert. Der Zündthyristor wird in einem flachen Gehäuse geliefert, das über einen genormten Anschluß für einen Lichtleiter verfügt.

Der vom Zündthyristor ausgehende Strom beträgt bis zu 30 A, d.h., er ist rund 10mal höher als der aus herkömmlichen elektrischen Steuerschaltungen. Dadurch wird die Einschaltgeschwindigkeit des nachgeschalteten Leistungstransistors erhöht und die di/dt-Leistungsfähigkeit verdoppelt.

Da der neue Thyristor extrem lichtempfindlich ist, läßt er sich durch unverstärkte Lichtimpulse von nicht mehr als ein bis zwei nJ aktivieren — im Vergleich zu den 30 bis 300 nJ für heute übliche lichtgesteuerte Leistungsbauelemente.
Der Zündthyristor ist darüber hinaus nahezu absolut gegen selbsttätiges Einschalten geschützt.
Neben der Anwendung in Umformstationen für Hochspannungsgleichstromübertragung wird untersucht, wie der neue Thyristor im Antriebssystem und in Steuerungen von Fertigungsabläufen eingesetzt werden kann.
W. Knuth, Berlin EA 1763

Wärmespeicher mit Kernkraftwerk gekoppelt

Ahmedov, R. B.; u.a.: Električeskie stancii (1983) 11, S. 11–14

Die hohen Investitionskosten von Kernkraftwerken bewirken, daß diese Kraftwerke insbesondere eine hohe Leistungsverfügbarkeit im Betrieb erreichen müssen. Da die Regelfähigkeit von Kernkraftwerken auch aus technischen Gründen nicht unproblematisch ist, muß angestrebt werden, daß sie ständig im Basisregime voll genutzt werden. Diese Forderung kann in Zukunft außer von Pumpspeicherwerken ebenfalls von Wärmespeichern abgesichert werden. Es wird das Standardkernkraftwerk mit sechs WWER-1000-Reaktoren, Turbinen K-1000-60/3000 und Generatoren TWW-1000-2 betrachtet. Dafür sind zwei bis sechs Speisewasserwärmespeicher aus Stahlbetonhüllen mit einem Fassungsvermögen von 17000 m³ vorgesehen. Um zyklische thermische Überlastungen des Speisewasserbehälters zu vermeiden, werden extra Kaltwasserkondensatbehälter errichtet. Die Wärmespeicher sind so konzipiert, daß sie die Tagesganglinie an Werktagen ausgleichen können. An Sonn- und Feiertagen rechnet man mit einer Regelfähigkeit der Reaktorblöcke von 10 bis 15%. Der Dampf für den Wärmespeicher wird nach dem Turbinenhochdruckteil entnommen.
Die Entladung des Wärmespeichers erfolgt über die Turbine. Hierbei arbeiten der Reaktor und die Dampferzeuger im Basisregime. Dazu muß jedoch die Turbine verändert und der größere Generator TWW-1200-2 installiert werden. Man untersucht zwei Speichergrößen: 1. für 5-h-Entladebetrieb und 2. für 17-h-Entladebetrieb täglich. Beide Wärmespeicher sollen innerhalb von 7 h in der Nacht aufgeladen werden. Die Speicher haben jeweils eine Entladenettoleistung von 835 MW. Zur Aufladung des 5-h-Speichers muß das 6000-MW-Kernkraftwerk in der Nacht um 741 MW gedrosselt werden. Für den 17-h-Speicher ist eine Drosselung um 2520 MW notwendig. Die Baukosten für den 5-h-Speicher betragen 113 Millionen Rubel und für den 17-h-Speicher 238 Millionen Rubel. Die Gesamtinvestitionskosten für die Wärmespeicher, Kaltwasserbehälter, Änderung des wärmetechnischen und elektrischen Teils, Wechsel des Generators usw. werden für den 5-h-Speicher mit 130 Rubel/kW und den 17-h-Speicher mit 273 Rubel/kW, bezogen auf die Speicherleistung (870 MW), beziffert. Die Zahlen für ein völlig gleichwertiges Pumpspeicherwerk liegen entschieden höher. Die Errichtung des Wärmespeichers ist außerdem nicht vom Landschaftsbild abhängig.
Einige technische Detaillösungen für den Wärmespeicherkomplex sind noch nicht endgültig ausgearbeitet.
E. Broßmann, Berlin EA 1729

KDT-FACHLITERATUR

Sicherheit an elektrotechnischen Anlagen

Tagungsband 73, Ausgabe März 1984, 105 Seiten, A 5, Preis: 30,— Mark

Das broschierte Arbeitsmaterial für den Betriebselektriker und verantwortlichen Fachmann des Bereiches Elektrotechnik enthält ein Verzeichnis der wichtigsten Rechtsvorschriften für das Errichten und Betreiben von elektrotechnischen Anlagen auf dem Stand von Dezember 1983. Die Standards TGL 30500 — Gesundheits- und Arbeitsschutz, Arbeiten unter Spannung an elektrotechnischen Anlagen; TGL 200-0602 — Schutzmaßnahmen in elektrotechnischen Anlagen; TGL 200-0613 — Leitungen in elektrotechnischen Anlagen und TGL 200-0617 Bl. 5 — Beleuchtung mit künstlichem Licht, Messung sind im Format A 5 abgedruckt.

Galvanotechnik '84

Tagungsband 74, Ausgabe Mai 1984, 112 Seiten, A 5, Preis 40,— Mark

In 14 Beiträgen werden funktionelle Anwendungen der Galvanotechnik sowie spezifische Elektrolyt- und Verfahrensentwicklungen zur gezielten Beeinflussung der Schichteigenschaften behandelt. Dabei steht die stetige Verbesserung der ökonomischen Parameter, sowohl für die galvanische Produktion selbst, als auch für andere Industriebereiche durch die Galvanotechnik mit im Vordergrund.
Die Erfahrungen mit rationellen Anlagen- und Verfahrenstechniken für die galvanische Produktion werden vorgestellt.

Wir liefern direkt und kurzfristig.

Kammer der Technik
Bezirksverband Suhl
Bereich Wissenschaft und Technik
6000 Suhl
Thälmannplatz 4

BUCHER

Programmierung von Mikrorechnern, Programmsysteme, parallele Prozesse, Echtzeitbetriebssysteme

Von *D. Werner.* Berlin: VEB Verlag Technik 1983. 1. Auflage. 269 Seiten, 115 Bilder, 24 Tafeln. Kunstleder 32,— Mark.
Bestell-Nr. 553 1999

Die ständig zunehmende Bedeutung von Mikrorechnern für den Einsatz in der Industrie ließ es geraten scheinen, ein Buch über Mikrorechner und ihre wesentlichen Grundlagen erscheinen zu lassen. Im vorliegenden Buch werden, ausgehend von der Struktur der Mikrorechner, ihrem Einsatz und ihrer Programmierung, insbesondere im zweiten Kapitel, die Mittel und Methoden der Programmentwicklung dargestellt. Im dritten Abschnitt folgt die Behandlung der Elemente von Anwenderprogrammsystemen, die auch Fragen der Initialisierung, der Realisierung von Abfragen, der Behandlung von Interrupts, der Eingabe- und Ausgabetechnik, der Nutzung des Stapelspeichers, Nutzung gemeinsamer Betriebsmittel umfaßt. Im vierten Abschnitt erfolgt schließlich die Koordinierung paralleler Rechenprozesse, wozu auch die Verwaltung von Rechenprozessen und die Konkurrenzprobleme mit einbezogen sind. Im fünften Abschnitt werden schließlich Echtzeitbetriebssysteme mit Mikrorechnern behandelt, wobei auch auf deren Einsatz eingegangen wird. In einem Anhang ist das Programmiersystem PL/M angefügt. Es folgt ein Literatur- und ein Sachwörterverzeichnis.
Das Buch ist so angelegt, daß neben den textlichen Erläuterungen auch sofort die Umsetzung in die Programmtechnik mit angegeben ist, so daß der mit dem Buch Arbeitende nicht nur die Theorie vermittelt bekommt, sondern auch einen Eindruck von der Realisierung erhält. Die Darstellung ist übersichtlich und textlich gut formuliert. Daher eignet sich das Buch gleichermaßen für Studierende wie für Praktiker, die sich einarbeiten wollen. Es ist auch als Nachschlagwerk für mit der Mikrorechentechnik erfahrene Praktiker geeignet. Die international üblichen Abkürzungen werden durchgängig benutzt. Durch ein umfangreiches Literaturverzeichnis kann man sich Spezialliteratur zu den einzelnen Abschnitten selbst herauszusuchen, um tiefergehende Studien betreiben zu können. Auf Grund eines sehr übersichtlichen Sachwörterverzeichnisses ist das Auffinden bestimmter Probleme leicht möglich. Studierenden und Praktikern ist das vorliegende Werk zu empfehlen.
P.-K. Budig, Karl-Marx-Stadt EA 1744

Grundgebiete der Elektrotechnik

Band 1: Stationäre Vorgänge

Von *A. Führer, K. Heidemann* und *W. Nerreter.* München, Wien: Carl Hanser Verlag. 266 Seiten, 474 Bilder, 55 durchgerechnete Beispiele, 147 Übungsaufgaben mit Lösungen

Die Autoren behandeln im vorliegendem Band 1 ausschließlich stationäre Vorgänge, während sich der noch in Vorbereitung be-

findliche zweite Band auf zeitabhängige Vorgänge bezieht.
Im Kapitel 1 werden, beginnend mit dem elektrischen Konvektionsstrom, Grundbegriffe der Elektrotechnik eingeführt. Daran schließt sich im Kapitel 2 und 3 die Behandlung von linearen und nichtlinearen Zwei- und Vierpolen an.
Das Kapitel 4 ist der Netzwerkanalyse gewidmet. Dabei wird neben der Lösung des vollständigen Gleichungssystems das Knotenpotential- und Maschenstromverfahren beschrieben.
Das elektrische Feld wird im Kapitel 5 zunächst als Strömungsfeld und danach als elektrostatisches Feld untersucht. Daran schließt sich die Berechnung stationärer magnetischer Felder im Kapitel 6 an. Die Maxwellschen Gleichungen werden für den stationären Fall in integraler Form eingeführt. Die Darstellung von Leitungsmechanismen im Kapitel 7 setzt mit der Stromleitung in Festkörpern ein, die sich sinnvollerweise vor allem auf Halbleiter konzentriert. Daran schließen sich die Stromleitung in Flüssigkeiten, im Vakuum sowie in Gasen an. Im Anhang sind neben der Lösung der Aufgaben die SI-Einheiten sowie weiterführende Literatur zusammengestellt.
Der Stoff ist pädagogisch sehr wirkungsvoll durchgearbeitet. Besonders hervorzuheben sind dabei die Formulierung der Zielstellung am Anfang des Abschnittes, die sehr gut ausgewählten Beispiele und Aufgaben sowie der modern orientierte Praxisbezug in jedem Abschnitt, der sicherlich auch die Motivation des Lesers fördert. Vorteilhaft ist dabei auch, daß die wichtigsten Fachausdrücke bei ihrem ersten Auftreten im Text auch in englisch gebracht werden. Das Buch wendet sich als Grundlagenwerk an Studierende der Elektrotechnik an Fachhochschulen, Hochschulen und Universitäten sowie an im Beruf stehende Ingenieure zur Auffrischung von Grundkenntnissen. Diesem Anliegen wird der vorliegende erste Band in sehr guter und moderner Weise gerecht.
H. Elschner, Dresden EA 1765

Jahrbuch Elektrotechnik 1984

Von *A. Grütz*. Berlin, Offenbach: VDE-Verlag GmbH 1984. 541 Seiten, 77 Bilder, 72 Tafeln

Dieser Band des VDE-Verlages besitzt die gleiche Struktur wie seine Vorgängerausgaben 1982 und 1983 und weist auf wesentliche Neuerungen in der Technik auf ausgewählten Gebieten der Elektrotechnik sowie deren Entwicklungstendenzen hin. So nimmt er z.B. zum technologischen Stand der Industrie der BRD gegenüber anderen führenden Industrieländern auf den Gebieten der Mikroelektronik, Energietechnik und Informationstechnologie Stellung und gibt Empfehlungen zu deren Weiterentwicklung.
Im Fachberichtsteil wird in einzelnen lose zusammengefügten technischen Aufsätzen namhafter Autoren der BRD für Techniker und Ingenieure über folgende Themenbereiche informiert:

— Kommunikationstechnik; — Mikroelektronik; — Energietechnik; — Elektrotechnik, Sicherheit und Standardisierung.

Im Bereich der Kommunikationstechnik werden die neuen elektronischen digitalen Entwicklungslinien und Geräte der Telekommunikation, wie TELEFAX (Fernkopieren), TELETEX (Bürofernschreiben), VIDEOTEX (Bildschirmtext) und Kabeltext, sowie deren in Vorbereitung befindliche optische Glasfaserübertragungsnetze beschrieben und deren weitere Entwicklungsmöglichkeiten aufgezeigt. Für lokale Netze der Informationsübertragung werden darüber hinaus die Anforderungen zu Datenraten, Zuverlässigkeit, räumlichen Ausdehnungen und das Verkehrsverhalten für Basisband-, Breitband-, Ring- sowie Bussysteme mit „Token access" untersucht sowie Betrachtungen über die optimale Anwendung und Standardisierung angestellt.
Der Bereich der Mikroelektronik enthält die Entwicklungsbeschreibungen vom Transistor bis zum Gate Array der VLSI-Technik und deren Anwendungen, z.B. in der Leistungselektronik. In ihm werden besonders anschaulich die Entwicklungen und Trends, Vorteile, Entwurf, Schnittstellen, Fertigung und Prüfung der vorgesehenen Anordnungen von Gatterschaltungen (Gate Arrays) dargestellt. Zur Energietechnik sind dagegen ausführlich die Gebiete

— der Berechnung der Teilkurzschlußströme von Kraftwerksblöcken mit Hilfe verschiedener Verfahren, z.B. der Kurzschlußstromberechnung mittels Überlagerungsverfahren, Verfahren der Ersatzspannungsquelle, der Reaktanzkorrektur- bzw. weiterer Korrekturverfahren
der Planung elektrischer Energieversorgungsnetze durch Systemkonzeption, Rechnereinsatz, Netznachbildungen und möglicher Berechnungsverfahren

beschrieben.
Der zweite Teil des VDE-Buches, der Bereich Elektrotechnik, Sicherheit und Standardisierung, informiert über

— Arbeitsweise und Verflechtungen der westeuropäischen Normenorganisation CENELEC an Hand der EG-Niederspannungsrichtlinie
— den aktuellen Bearbeitungsstand zu Errichtungsvorschriften für elektrotechnische Anlagen bis 1000 V nach DIN 57100/VDE 0100 zur Einführung der IEC-Publikation 364
— bestehende Errichtungsvorschriften anderer führender Industrieländer, z.B. der USA, Englands, Frankreichs und der DDR. Die Vorschriften der DDR könnten an dieser Stelle jedoch nach Einholung von Information befriedigender dargestellt werden.
— den neuen Überspannungsschutz der Netzanschlüsse für transportable Betriebsstätten durch Anwendung von Schutzisolierungen im Eingangskreis zum Schutz vor Blitzeinschlägen und nuklearen elektromagnetischen Pulsen (NEMP)
— die Gerätesicherheit und spezielle Sicherheit in der medizinischen Technik durch Anwendung des Gerätesicherheitsgesetzes der BRD und über Diskussionen zu neu gebildeten Begriffen und Sicherheitsprinzipien.

Die letzten Abschnitte des VDE-Buches enthalten neben allgemeinen Angaben zum VDE und zu anderen wissenschaftlichen Organisationen der BRD:

— Kennzeichen, Bezeichnungen und Schaltzeichen, z.B. der digitalen und analogen Informationsverarbeitung nach DIN 40700, DIN 40900
— Bildzeichen, Kennbuchstaben, Farben und Normenwerte für elektrotechnische Anlagen, z.B. für Schutzzeichen, Schaltungsarten, Kennzeichnung isolierter und blanker Leiter und Starkstromleitungen und -kabel sowie deren Normenwerte für den Schutz und Bemessung nach DIN 40100, DIN 57100, DIN 40719 und DIN 57293.

H. Kloust, Berlin EA 1702

Bauelemente der Optik

Von *H. Naumann* und *G. Schröder*, München: Carl Hanser Verlag 1983. 4., überarbeitete und erweiterte Auflage. 599 Seiten, 389 Bilder, 74 Tafeln. Kunstleder.

Seit über 30 Jahren ist das bisher in drei Auflagen erschiene Buch „Optik für Konstrukteure" von *H. Naumann* wertvolles Nachschlagewerk für Konstrukteure des wissenschaftlichen Gerätebaus. Bei der jetzt vorliegenden 4. Auflage unter geändertem Titel wurde unter Beibehaltung bewährter Abschnitte eine grundsätzliche Neubearbeitung mit starker Erweiterung vorgenommen, die den aktuellen Bedürfnissen und der modernen Entwicklung dieses Wissensgebietes entspricht. Das Buch ist nicht als Lehrbuch konzipiert, sondern als Kompendium mit der Absicht, wichtige und unbedingt notwendige theoretische Grundlagen der optischen Abbildung, die in optischen Geräten benötigten Bauelemente und die optischen Wirkprinzipe und deren grundsätzlichen Aufbau zusammenzustellen. Dabei wird vor allem auf die funktionellen Beziehungen an optischen Bauelementen, Baugruppen und Verfahren orientiert. Damit dient das Buch vorzugsweise dem Verständnis für die Funktion optischer Geräte und deren Anwendung, der Auswahl der benötigten Komponenten und deren richtiger Anwendung. Unterstützt wird dieses Anliegen durch zahlreiche in Tabellen zusammengestellte physikalische Größen und Kennwerte optischer Werkstoffe und Bauelemente. Fertigungstechnische Probleme werden nur gestreift. Dem Konstrukteur optischer Geräte werden auch nur wenige Anregungen gegeben bei den vielfältigen und häufig recht komplizierten Problemen, die bei der konstruktiven Ausführung entstehen und das Zusammenwirken mechanischer, elektrischer bzw. elektronischer und optischer Elemente betreffen, z.B. Fragen der Stabilität, der Genauigkeit, der Fehlereinflüsse und das für optische Geräte so typische Problem der Justierung. Die einzelnen Abschnitte enthalten ein umfangreiches und aktuelles Literaturverzeichnis und eine Zusammenstellung von Herstellern und Lieferanten optischer Systeme. Insgesamt steht mit dieser Neubearbeitung ein bewährtes und dem technischen Entwicklungsstand entsprechendes Nachschlagewerk zur Verfügung, dem der Entwickler optischer Geräte vielfältige Anregungen mit unmittelbar praktischem Nutzen entnehmen kann.
M. Schilling, Suhl EA 1764

Документация

Ян, Д.: Оптоэлектронная передача характеристики давления гасящего средства в малообъемных масляных силовых выключателях, измеренной на потенциале высокого напряжения
ELEKTRIE, Берлин 38 (1984) 9, стр. 325—328, 3 рис. 7 лит.

Описываются измерение и оптоэлектронная передача характеристики давления гасящего средства на потенциале высокого напряжения в малообъемных масляных силовых выключателях среднего напряжения в высоковольтной мощной испытательной лаборатории.

Анке, Э.; Менке, Х.; Тиде, Ф.: Модифицированный способ определения параметров электрической дуги по методу наложения тока
ELEKTRIE, Берлин 38 (1984) 9, стр. 328—331, 6 рис., 16 уравн., 10 лит.

На основе метода наложения тока, на IPH Берлин с помощью модели „черного ящика" электрической дуги отключения выработан и опробован модифицированный способ определения параметров электрической дуги. Данный способ в значительной мере избегает недостатков других методов и является пригодным для рутинного использования.

Беер, Ф.: Исследования в области гашения электрической дуги в плотных жестяных дугогасительных камерах низковольтных силовых выключателей
ELEKTRIE, Берлин 38 (1984) 9, стр. 331—333, 5 рис., 10 лит.

На основе измерения восстаналивающегося напряжения и тока последействия электрической дуги делаются выводы о действующем механизме при гашении и повторном зажигании электрической дуги в плотных жестяных дугогасительных камерах и определяются специфичные для данного выключателя критичные значения тока последействия, которые могут использоваться в качестве предельных значений для испытаний без разрушения выключателей в диапазоне предельных мощностей.

Ротхардт, Л.: Экспериментальное и числовое моделирование диэлектрического повторного зажигания между обтекаемыми гасящим газом контактами силового выключателя
ELEKTRIE, Берлин 38 (1984) 9, стр. 334—336, 4 рис., 6 уравн., 11 лит.

С учетом стохастического влияния турбулентного потока гасящего газа рассматривается расширение модели „черного ящика" для электрических дуг отключения на случай диэлектрического повторного зажигания. Модельные эксперименты и соответствующие числовые модельные расчеты доказывают пригодность модели.

Рифеншталь, У.; Ханзен, Р.: Встречное управление дисковыми прокатными ножницами при помощи микро-ЭВМ
ELEKTRIE, Берлин 38 (1984) 9, стр. 336—340, 8 рис., 13 уравн., 5 лит.

Представляется установка автоматизации дисковых прокатных ножниц, в которой установка audatec с микро-ЭВМ К 1520 реализует все цифровые функциональные группы. Она отличается высокими характеристиками поведения при задающем воздействии и помехозащищенности, большим диапазоном регулировки длины реза и высокой точностью реза.

Кольбе, Э.; Зеебер, Х.: Новые возможности охлаждения сильно нагруженных индукторов для индукционного нагрева
ELEKTRIE, Берлин 38 (1984) 9, стр. 340—342, 4 рис., 5 лит.

В статье представляются несколько возможностей реализации следующих систем охлаждения: охлаждение испарением по принципу термотрубы, охлаждение по принципу двухфасного термосифона, воздушное охлаждение по принципу адиабатического изменения состояния.

Крюгер, В.-Д.; Краузе, В.; Ландерер, В.: Исследования собственных колебаний на статоре крупных турбогенераторов
ELEKTRIE, Берлин 38 (1984) 9, стр. 342—344, 9 рис., 6 лит.

Представляются модели расчета и методы измерения по определению характеристики собственных колебаний статоров крупных турбогенераторов. Приводятся результаты исследований.

Брэзель, Э.; Пыль, Т.: Корректировка релейного газа для определения вида неисправности в трансформаторе
ELEKTRIE, Берлин 38 (1984) 9, стр. 344—347, 4 рис., 6 уравн., 1 лит.

Основываясь на модели газового обмена вырабатываются два корректирующих уравнения позволяющие применение диагностической схемы для растворимых в масле газов и релейных газов в случае появления спонтанных неисправностей. Наглядно показывается практическое значение.

Баллхорн, У.: О цифровом расчете процессов выравнивания с системах трехфазного тока
ELEKTRIE, Берлин 38 (1984) 9, стр. 347—350, 2 рис., 4 табл. 10 уравн., 2 лит.

Представленная цифровая программа расчета временных характеристик тока ответвления и напряжения точки звезды в системах трехфазного тока включает в себя решение системы линейных уравнений в рамках способа временных тактов и разработана на языке программирования Pl/1.

Брендлер, В.: Отображение измеряемых величин силы тока с разделением потенциалов в распределительных устройствах с помощью дифференциального трансформатора
ELEKTRIE, Берлин 38 (1984) 9, стр. 350—352, 3 рис., 1 лит.

Дается описание принципа действия мостовой схемы из двух трансформатором тока расчитанных на малую массу, которая в связи с электронным усилителем мощности дает своеобразный трансформатор тока с замечательными свойствами.

Dokumentation

***Jahn, D.:* Optoelectronic Transmission of the Quenching Medium Pressure Behaviour, Measured at High-Voltage Potential, in Oil-Poor Power Switchers**
ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 9, pp. 325 – 328, 3 Figs., 7 Refs.

Measurement and optoelectronic transmission of the quenching medium pressure behaviour, existing at high-voltage potential, in oil-poor medium-voltage power switchers in a high-voltage high-power test laboratory are described.

***Anke, E.; Mencke, H.; Thiede, F.:* A Modified Method of Determination of the Arc Parameters with Using the Method of the Current Superposition**
ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 9, pp. 328 – 331, 6 Figs., 16 Equations, 10 Refs.

From the method of the current superposition a modified method adapted to the experimental determination of the arc parameters was derived and tested in the IPH Berlin by means of the black-box-model of the switching arc. That method eliminates extensively the disadvantages of other methods, and it is adapted to the routine application.

***Beer, F.:* Studies to the Arc Quenching in Compact Quenching Plate Chambers of Low-Voltage Power-Switchers**
ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 9, pp. 331 – 333, 5 Figs., 10 Refs.

Using measurements of the recovery voltages and of the post-arc current statements about the responsible mechanism of the quenching respectively the reignition of the arc in compact quenching plate chambers are derived and critical post-arc current values, specific to switchers, are specified, which may be used as limiting values for non-destructive switcher-tests in the limiting power area.

***Rothhardt, L.:* Experimental and Numerical Modeling of the Dielectric Reignition of Flowed auroud Power Switchers**
ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 9, pp. 334 – 336, 4 Figs., 6 Equations, 11 Refs.

With consideration of the stochastic influence of the turbulently flowing quenching gas the author reports about the extension of the black-box-model of switching arcs to the case of the dielectric reignition. Model experiments and appertaining numerical model computations are illustrating the serviceability.

***Riefenstahl, U.; Hansen, R.:* Rendenzvous Control of a Rotating Rolling Mill Shears with Microcomputers**
ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 9, pp. 336 – 340, 8 Figs., 13 Equations, 5 Refs.

The automation plant of a rotating rolling mill shears is represented, in which an audatec-plant with the microcomputer K 1520 realizes all of the digital function groups. It is characterized by a very good guidance and disturbance behaviour, a great regulation area of the length of path and a high cutting speed.

***Kolbe, E.; Seeber, H.:* New Possibilities Adapted to the Cooling of High-Loaded Inductors for the Induction heating**
ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 9, pp. 340 – 342, 4 Figs., 5 Refs.

In this paper several possibilities of realizing the following cooling systems are represented: cololing by evaporation by using the principle of the heat pipe, cooling by using the principle of the 2-phase thermosiphon, air cooling by using the principle of the adiabatic state change.

***Krüger, W.-D.; Krause, W.; Landerer, W.:* Natural Vibration Studies of Stators of Great Turbo-Generators**
ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 9, pp. 342 – 344, 9 Figs., 6 Refs.

Computing models and measuring methods of determining the natural vibration behaviour of stators of great turbo-generators are illustrated. Results of investigations are specified.

***Brüsel, E.; Pyl, Th.:* Relay Gas Correction Adapted to the Determination of the Error Type in the Transformer**
ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 9, pp. 344 – 347, 4 Figs., 6 Equations, 1 Ref.

Starting from the gas exchange model two correcting equations are derived, which make possible applicating in spontaneous errors the diagnosis scheme of gases solved in oil to relay gases, too, the practical importance is illustrated.

***Ballhorn, U.:* To the Digital Computation of Transient Processes in Three-Phase Systems**
ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 9, pp. 347 – 350, 2 Figs., 4 Tables, 10 Equations, 2 Refs.

The represented digital programme of computing time-dependent branch current and nodal voltage behaviours in the three-phase system contains the solution of the linear equation system within a time step method and is elaborated in the programming language PL/1.

***Brendler, W.:* Potential Separated Registration of the Measured Values of Current in Switching Units by Bridge Transformer**
ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 9, pp. 350 – 352, 3 Figs., 1 Ref.

The functional principle of a bridge circuit is described, which consists of two on minor mass dimensioned current transformers. In connection with an electronic power amplifier it becomes a nonconventional current transformer with outstanding favourable properties.

Dokumentation

Jahn, D.: **Optoelektronische Übertragung des auf Hochspannungspotential gemessenen Löschmittel-Druckverlaufs in ölarmen Leistungsschaltern**
ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 9, S. 325 – 327, 3 Bilder, 7 Lit.

Es werden Messung und optoelektronische Übertragung des auf Hochspannungspotential vorhandenen Löschmittel-Druckverlaufs in ölarmen Mittelspannungs-Leistungsschaltern in einem Hochspannungs-Hochleistungsprüffeld beschrieben.

Anke, E.; Mencke, H.; Thiede, F.: **Ein modifiziertes Verfahren zur Bestimmung der Lichtbogenparameter nach der Methode der Stromüberlagerung**
ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 9, S. 328 – 331, 6 Bilder, 16 Gln., 10 Lit.

Aus der Methode der Stromüberlagerung wurde im IPH Berlin anhand des black-box-Modells des Schaltlichtbogens ein modifiziertes Verfahren zur experimentellen Ermittlung der Lichtbogenparameter abgeleitet und erprobt. Dieses Verfahren beseitigt weitgehend die Nachteile anderer Methoden und ist für die Routineanwendung geeignet.

Beer, F.: **Untersuchungen zur Lichtbogenlöschung in kompakten Löschblechkammern von Niederspannungs-Leistungsschaltern**
ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 9, S. 331 – 333, 5 Bilder, 10 Lit.

Aus Messungen der wiederkehrenden Spannung und des Lichtbogennachstroms werden Aussagen zum verantwortlichen Mechanismus für das Löschen bzw. Wiederzünden des Lichtbogens in kompakten Löschblechkammern abgeleitet und schalterspezifische kritische Nachstromwerte angegeben, die als Grenzwerte für zerstörungsfreie Schalterprüfungen im Grenzleistungsbereich benutzt werden können.

Rothhardt, L.: **Experimentelle und numerische Modellierung des dielektrischen Wiederzündens von beströmten Leistungsschaltstrecken**
ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 9, S. 334 – 336, 4 Bilder, 6 Gln., 11 Lit.

Unter Berücksichtigung des stochastischen Einflusses des turbulent strömenden Löschgases wird über die Erweiterung des black-box-Modells für Schaltlichtbögen auf den Fall des dielektrischen Wiederzündens berichtet. Modellexperimente und zugehörige numerische Modellrechnungen belegen die Brauchbarkeit.

Riefenstahl, U.; Hansen, R.: **Rendezvoussteuerung einer rotierenden Walzwerkschere mit Mikrorechnern**
ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 9, S. 336 – 340, 8 Bilder, 13 Gln., 5 Lit.

Es wird die Automatisierungsanlage für eine rotierende Walzwerksschere vorgestellt, in der eine audatec-Anlage mit dem Mikrorechner K 1520 alle digitalen Funktionsgruppen realisiert. Sie zeichnet sich durch ein sehr gutes Führungs- und Störverhalten, einen großen Schnittlängenstellbereich und eine hohe Schnittgenauigkeit aus.

Kolbe, E.; Seeber, H.: **Neue Möglichkeiten für die Kühlung hochbelasteter Induktoren für die Induktionserwärmung**
ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 9, S. 340 – 342, 4 Bilder, 5 Lit.
Im Beitrag werden Möglichkeiten zur Realisierung folgender Kühlsysteme vorgestellt: Verdampfungskühlung nach dem Prinzip des Wärmerohres, Kühlung nach dem Prinzip des 2-Phasen-Thermosiphons, Luftkühlung nach dem Prinzip der adiabaten Zustandsänderung

---

Krüger, W.-D.; Krause, W.; Landerer, W.: **Eigenschwingungsuntersuchungen an Ständern großer Turbogeneratoren**
ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 9, S. 342 – 344, 9 Bilder, 6 Lit.

Berechnungsmodelle und Meßmethoden zur Ermittlung des Eigenschwingungsverhaltens von Ständern großer Turbogeneratoren werden dargestellt. Untersuchungsergebnisse sind angegeben.

Brüsel, E.; Pyl, Th.: **Relaisgaskorrektur zur Bestimmung der Fehlerart im Transformator**
ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 9, S. 344 – 347, 4 Bilder, 6 Gln., 1 Lit.

Ausgehend von dem Gasaustauschmodell werden zwei Korrekturgleichungen abgeleitet, die es gestatten, bei spontanen Fehlern das Diagnoseschema für im Öl gelöste Gase auch auf Relaisgase anzuwenden. Die praktische Bedeutung wird veranschaulicht.

Ballhorn, U.: **Zur digitalen Berechnung von Ausgleichsvorgängen in Drehstromsystemen**
ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 9, S. 347 – 350, 2 Bilder, 4 Tafeln, 10 Gln., 2 Lit.

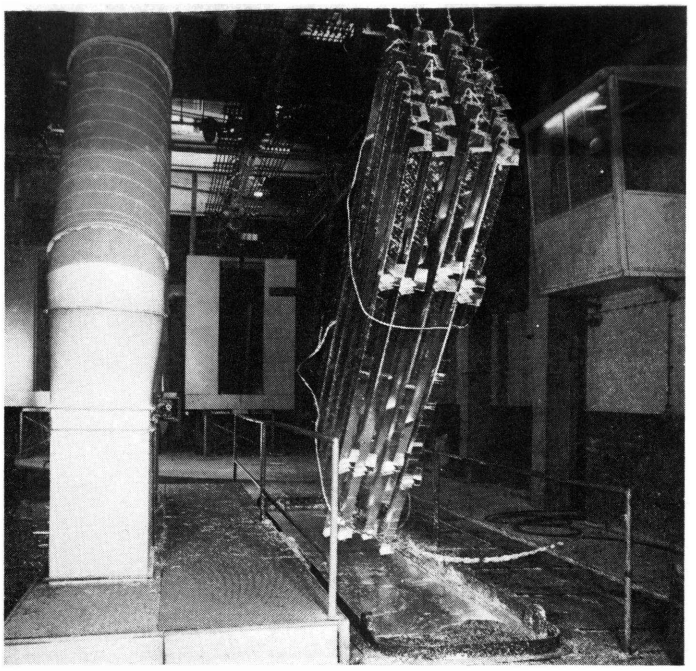
Das vorgestellte Digitalprogramm zum Berechnen zeitlicher Zweigstrom- und Knotenpunktspannungsverläufe im Drehstromsystem beinhaltet die Lösung des linearen Gleichungssystems innerhalb eines Zeitschrittverfahrens und wird in der Programmiersprache Pl/1 erarbeitet.

Brendler, W.: **Potentialgetrennte Meßwertabbildung der Stromstärke in Schaltanlagen mittels Brückenwandlers**
ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 9, S. 350 – 352, 3 Bilder, 1 Lit.

Beschrieben wird das Funktionsprinzip einer Brückenanordnung von zwei massearm dimensionierten Stromtransformatoren, die in Verbindung mit einem elektronischen Leistungsverstärker einen nichtkonventionellen Stromwandler mit bemerkenswert günstigen Eigenschaften ergibt.

ELEKTRIE

Herausgeber	Kammer der Technik
Verlag	VEB Verlag Technik DDR-1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201 Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 28700; Telex: 0112228 techn dd
Verlagsdirektor	Dipl. oec. *Herbert Sandig*
Redaktion	Dipl.-Ing. *Klaus Heide*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2870345) Dipl.-Ing. *Wolfgang Rönspieß*, Redakteur (Telefon: 2870343)
Lizenz-Nr.	1100 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik
AN (EDV)	6730
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
Heftpreis	2,50 M, Abonnementpreis vierteljährlich 7,50 M. Auslandpreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Gesamtherstellung	III/18/328 Messedruck Leipzig, BT Borsdorf 7122 Borsdorf
Anzeigenannahme	Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigen-Annahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, 1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201 Anzeigenpreisliste Nr. 7 Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, DDR-1157, Berlin, Hermann-Duncker-Str. 89
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
Bezugsmöglichkeiten	
DDR	sämtliche Postämter
SVR Albanien	Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propaganditit te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana
VR Bulgarien	Direkzia R.E.P., 11a, Rue Paris, Sofia
VR China	China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P.O. Box 88, Beijing
ČSSR	PNS — Ústrédni Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Vinohradská 41, 12505 Praha PNS, Ústred na Expedicia Tlače, Gottwaldovo nám. 48, 88419 Bratislava
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knjijiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzeće MLADOST, Ilica 30, Zagreb
Koreanische DVR	CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang
Republik Kuba	Empresa de Comercio, Exterior de Publicaciones O'Reilly No. 407, Ciudad Habana
VR Polen	C.K.P.i.W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa
SR Rumänien	Directia Generala a Postei si Difuzarii Presei, Palatul Administrativ, Bucuresti
UdSSR	Städtische Abteilungen von Sojuzpečat' oder Postämter und Postkontore
Ungarische VR	P.K.H.I., Külföldi Elöfizetési Osztály, P.O. Box 16, 1426 Budapest
SR Vietnam	XUNHASABA, 32, Hai Ba Trung, Hanoi
BRD und Berlin (West)	ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141 – 167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30
Österreich	Helios Literatur-Vertriebs GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, A-2345 Brunn am Gebirge
Schweiz	Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstr. 109, 8033 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Fachbuchhandel BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, DDR-7010 Leipzig, Postfach 160; und Leipzig Book Service DDR-7010 Leipzig, Talstraße 29



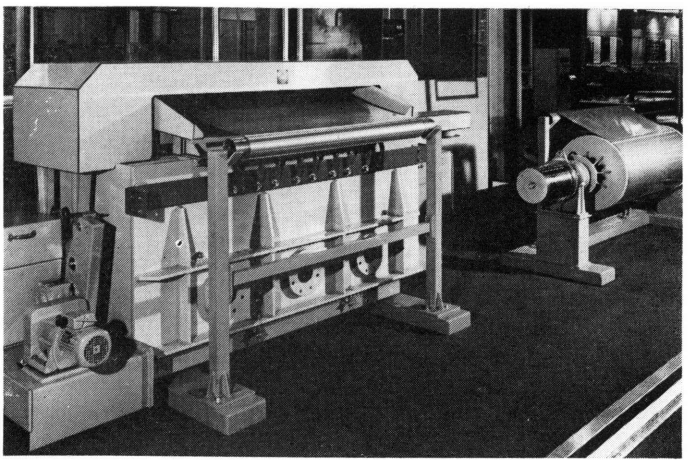


Bild 6. Baugruppen der neuen Kupferfolienerzeugungsanlage (Goldmedaille der Leipziger Frühjahrsmesse 1983)

Bild 5. NF-Induktions-Verzinkungsanlage für lange, sperrige Teile

35 DDR

Schneller und effektiver auch in Forschung und Entwicklung

LEW

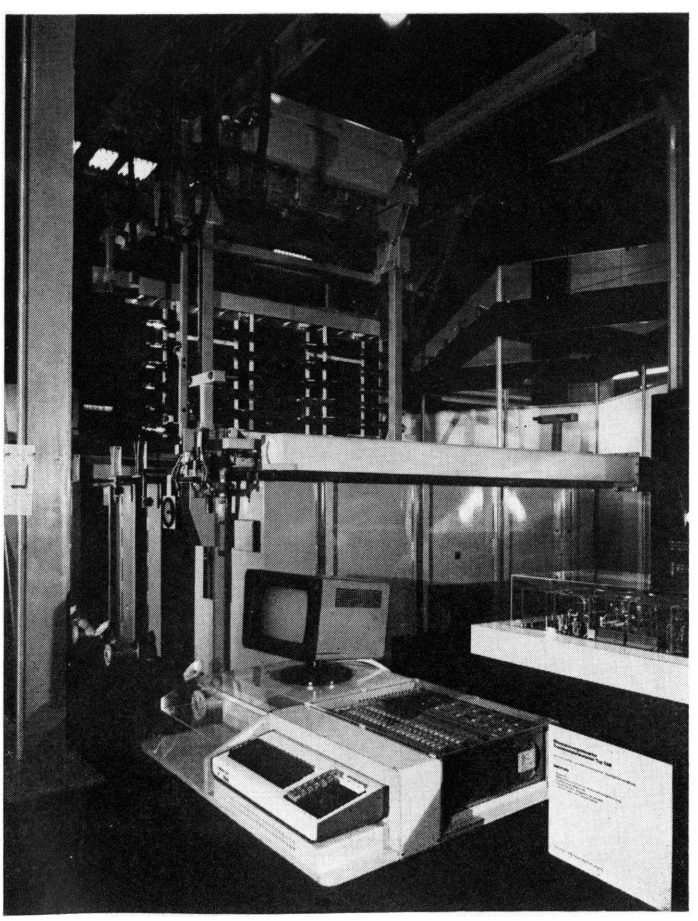
Spitzenerzeugnisse aus dem Kombinat VEB Lokomotivbau-Elektrotechnische Werke „Hans Beimler" (Siehe auch 2. US)

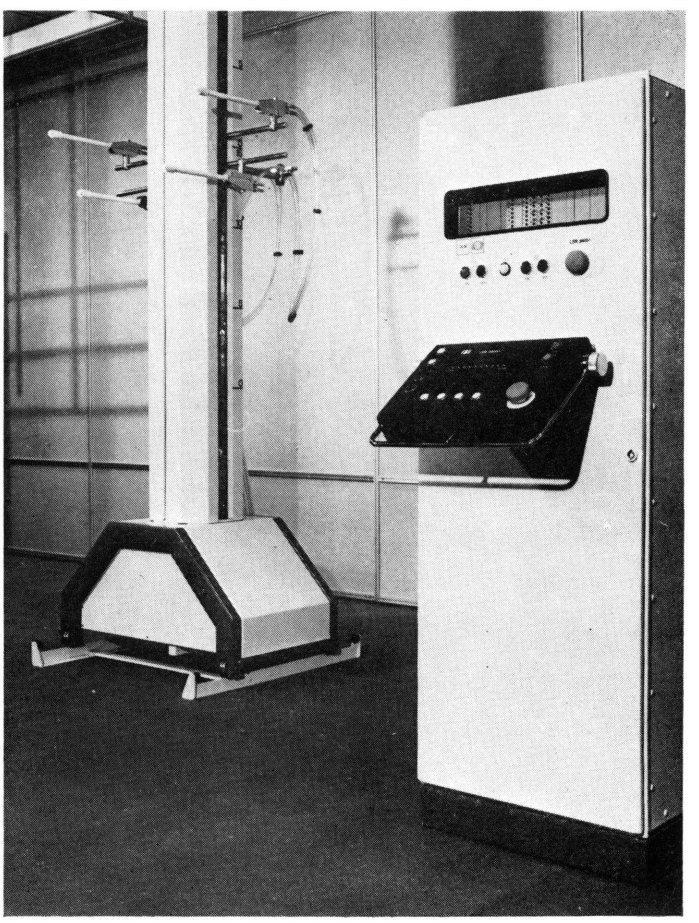
Lesen Sie hierzu unser Interview mit dem Direktor für Wissenschaft und Technik des Kombinats, Dr.-Ing. *Eckard Martin* auf den Seiten 323/324.

Bild 7. Baugruppe der neuen Trenntransportautomatenreihe TAR mit Mikrocomputersteuerung zur wirtschaftlichen galvanischen Beschichtung von Massenteilen

Bild 8. LEW-Linearspritzroboter mit Mikroelektroniksteuerung

Fotos: Werkfoto

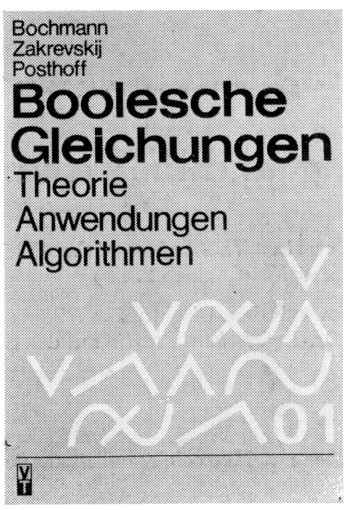




ISSN 0013 — 5399
ELEKTRIE · Berlin 38 (1984) 9 · S. 321 — 360

6730 9 172 027 465
KOMB KERAM WERKE
8612 7001 0136 DE
***350*

NEUERSCHEINUNG · NEUERSCHEINUNG · NEU



Boolesche Gleichungen

Theorie, Anwendungen, Algorithmen

Herausgegeben von Prof. Dr. sc. techn. Dieter Bochmann, Prof. Dr. sc. techn. A. D. Zakrevskij und Prof. Dr. sc. techn. Dr. rer. nat. Christian Posthoff. 240 Seiten, 57 Bilder, 47 Tafeln, Pappband, 33,— M, Ausland 42,— M. Bestellangaben: 553 3249/Bochmann, Gleichungen

Vertriebsrechte für die nichtsozialistischen Länder vergeben

Boolesche Gleichungen sind vor allem durch Untersuchungen zur mathematischen Logik theoretisch gut erschlossen. Ingenieure wenden sie beim logischen Entwurf digitaler Systeme in der Steuerungstechnik und in verschiedenen Zielstellungen der Programmierung an. Dabei wurden jedoch bisher die Möglichkeiten der Theorie nicht ausgenutzt und nur recht elementare Grundlagen verwandt.

Der vorliegende Sammelband setzt sich das Ziel, die Leistungsfähigkeit dieser mathematischen Disziplin zu zeigen und auch neuere theoretische Ergebnisse für die Praxis aufzubereiten. Die einzelnen Beiträge sind orientiert auf:

— rechentechnische Verfahren für technische Aufgabenstellungen, speziell unter Berücksichtigung großer Variablenzahlen
— die Modellierung technischer Probleme durch Boolesche Gleichungen
— theoretische Ergebnisse, die für technische Prozesse relevant sind (Boolesche Differentialgleichungen, Dekomposition, Kodierung)
— algorithmische Lösungen technischer Probleme.

Neben Autoren aus der DDR konnten Autoren aus der Sowjetunion, insbesondere aus der traditionsreichen Minsker Schule, sowie ein Autor aus Belgien gewonnen werden.

Hauptabschnitte des Buches:

Boolesche Gleichungen — mathematische Grundbegriffe · Boolesche Differentialgleichungen · Logische Matrixgleichungen — Theorie und Praxis · Boolesche Berechnungen und die Lösung logischer Gleichungen · Rechentechnische Erfahrungen mit Booleschen Gleichungen · Vergröberung von Graphen · Logische Gleichungen und Dekomposition diskreter Automaten · Hazardanalyse in asynchronen logischen Schaltungen · Kompliziertheitsprobleme Boolescher Funktionen und Gleichungen · Lösung von Kodierungs- und Dekodierungsaufgaben mittels logischer Gleichungen · Analyse und Synthese stabiler binärer Automaten mit Hilfe logischer Gleichungen · Algorithmische Strukturbeschreibung von Kommunikationsprozessen · Anwendung der Theorie Boolescher Funktionen auf den Entwurf von Algorithmen · Boolesche Gleichungen zur Programmierung von Steuerungen.

Auslieferung durch den Fachbuchhandel

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN